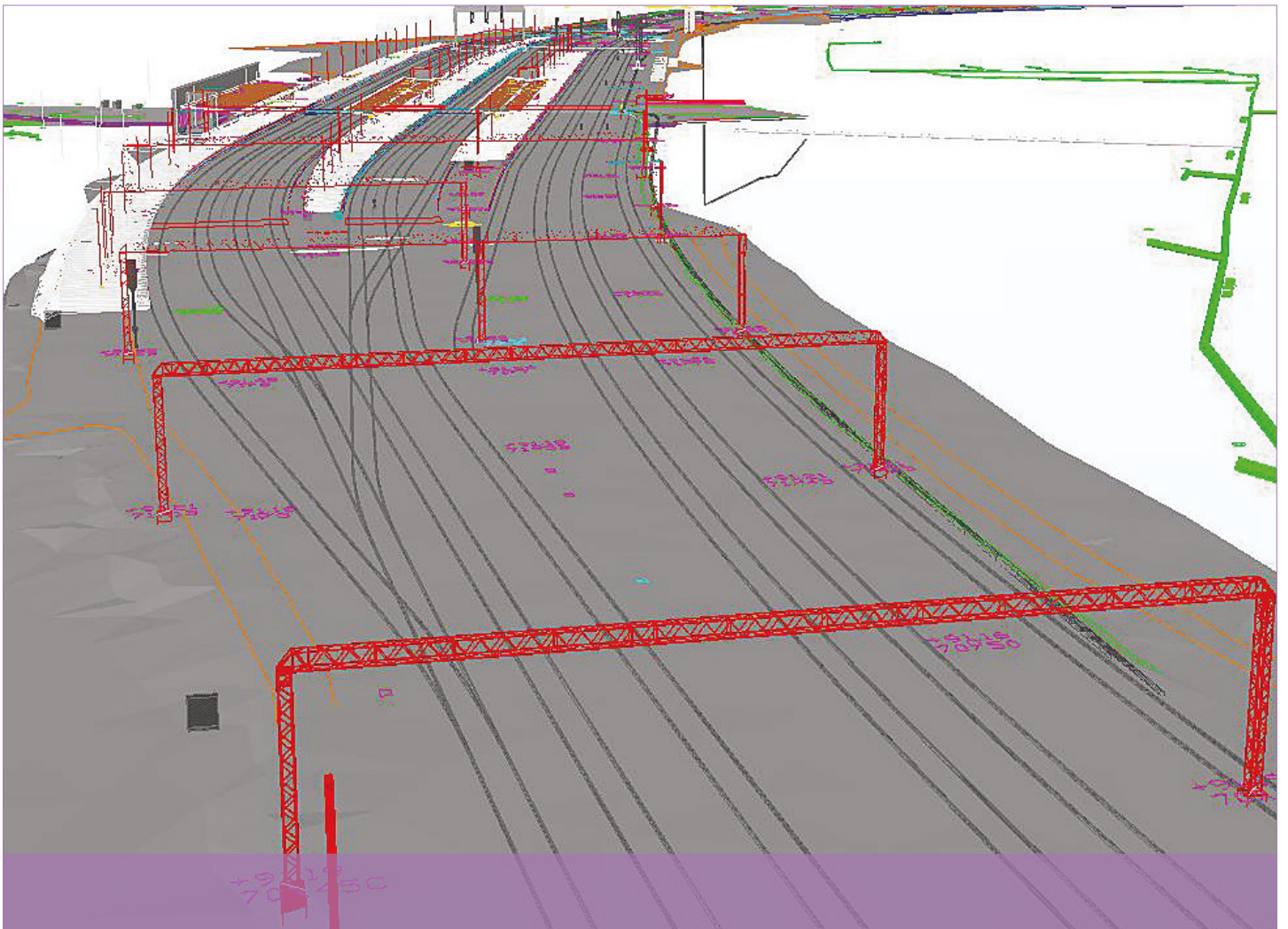


Eveliina Pulkkinen

Turvalaite- ja sähköratatekniikan tietomallintamisen kehittäminen



Eveliina Pulkkinen

Turvalaite- ja sähköratatekniikan tietomallintamisen kehittäminen

Opinnäytetyö 3/2018

Liikennevirasto

Helsinki 2018

Kannen kuva: Riihimäen henkilöratapihan yhdistelmämalli

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN 2343-1741

ISBN 978-952-317-561-7

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Eveliina Pulkkinen: Turvalaite- ja sähköratatekniikan tietomallintamisen kehittäminen. Liikennevirasto, hankehallintaosasto. Helsinki 2018. Opinnäytetyö 3/2018. 73 sivua ja 2 liitettä. ISSN 2343-1741, ISBN 978-952-317-561-7.

Avainsanat: mallintaminen, tietomallintaminen, turvalaitteet, rautatiet, sähköradat, BIM, infra-BIM

Tiivistelmä

Infra-alan tietomallintamisen eli inframallintamisen ohjenuoriksi on luotu Yleiset inf-ramallivaatimukset (YIV) -ohjeistus, InfraBIM-nimikkeistö sekä tiedonsiirtoformaattien määrittelyt. Nämä ohjeet ja vaatimukset eivät kuitenkaan kata vielä kaikkia tekniikka-aloja, esimerkiksi rautateiden turvalaite- ja sähköratajärjestelmiä, mikä aiheuttaa ongelmia mallipohjaisesti toteutettavien hankkeiden tilaamiseen ja suunnitteluun. Tämän diplomityön päätavoitteena on luoda pohja turvalaite- ja sähköratatekniikan tietomallintamiselle määrittämällä suuntaviivat mallinnusvaatimuksille, nimikkeistölle ja tiedonsiirtoformaatile. Lisäksi työn tavoitteena on tarkastella turvalaite- ja sähköratamallintamiseen liittyvää mallinnusteknologiaa sekä toimintatapoja ja prosesseja.

Työ muodostuu kahdesta osuudesta: kirjallisuustutkimuksesta ja empiirisestä tutkimuksesta. Kirjallisuusosiossa esitellään turvalaite- ja sähköratajärjestelmien sekä tietomallintamisen perusteita. Empiirisen osion tutkimus tehtiin alan asiantuntijaryhmän työpajatyöskentelyn pohjalta. Tutkimuksen pohjalta määritettiin turvalaite- ja sähköratamalliin sisällytettävien osien mallinnustapa ja -tarkkuus sekä liitettävät attribuuttitiedot nykyisten mallinnustavoitteiden perusteella. Tutkimuksessa havaittiin tarve laajentaa InfraBIM-nimikkeistöä myös turvalaite- ja sähköratatekniikan tarpeisiin. InfraBIM-nimikkeistön täydentämiseen luotiin alustava ehdotus, jossa näille järjestelmille on omat nimikkeistöryhmänsä.

Avoimia tiedonsiirtoformaatteja ja mallinnusohjelmistoja ei ole kehitetty vastaamaan turvalaite- ja sähköratamallintamisen tarpeita. Tiedonsiirtoformaattien ja ohjelmistojen kehittäminen on hidasta, joten näiden tekniikkalajien mallien tiedonsiirtoformaattina käytetään toistaiseksi dwg-formaattia. Dwg-formaatti ei kuitenkaan sovellu käytettäväksi tiedonsiirtoon pitkällä tähtäimellä. Näin ollen työn aikana käynnistettiin erillinen, tarkempi selvitys turvalaite- ja sähköratamallien tiedonsiirtoformaateista.

Turvalaite- ja sähköratamallintamisen työkaluksi tulee luoda vaatimusten mukaisia valmiita 3D-objekteja järjestelmien osista. Lähitulevaisuudessa objekteille tulee luoda julkinen objektikirjasto, jossa ne ovat kaikkien toimijoiden saatavilla.

Tässä työssä määritetyt mallinnusvaatimukset koskevat pääasiassa rakentamissuunnitteluvaihetta. Aikaisempien suunnitteluvaiheiden suunnittelun ja mallintamisen tarkkuustason tarkoituksenmukaisuutta tulisi tarkastella kattavammin kehitystyön edetessä. Turvalaite- ja sähköratamalleja tulisi hyödyntää enemmän myös rakentamisvaiheessa sekä kunnossapidossa ja omaisuudenhallinnassa. Lisäksi nykyiset toimintatavat ja prosessit vaativat tarkastelua ja päivittämistä mallipohjaista toimintaa tukevaan suuntaan.

Eveliina Pulkkinen: Utveckling av datamodellering för skyddsanordningsteknik och teknik för elektrifierade spår. Trafikverket, projekthantering. Helsingfors 2018. Lärdomsprov 3/2018. 73 sidor och 2 bilagor. ISSN 2343-1741, ISBN 978-952-317-561-7.

Sammanfattning

Som riktlinjer för datamodellering inom infrabranschen, dvs. inframodellering, har man skapat YIV-anvisningarna (Yleiset inframallivaatimukset, Allmänna inframodellkrav) InfraBIM-nomenklaturen samt definitioner för dataöverföringsformat. Dessa anvisningar och krav täcker dock ännu inte alla teknikområden, t.ex. järnvägarnas system för skyddsanordningar och elektrifierade spår, vilket orsakar problem vid beställning och planering av projekt som ska genomföras modellbaserat. Huvudmålsättningen för detta diplomarbete är att skapa en grund för datamodellering av skyddsanordningsteknik och teknik för elektrifierade spår genom att definiera riktlinjer för modelleringskrav, nomenklatur och dataöverföringsformat. En målsättning för arbetet är också att undersöka modelleringsteknik samt tillvägagångssätt och processer med anknytning till modellering av skyddsanordningar och elektrifierade spår.

Arbetet består av två delar: en litteraturstudie och en empirisk studie. I litteraturdelen presenteras systemen för skyddsanordningar och elektrifierade spår samt grunderna för datamodellering. Studien av den empiriska delen gjordes baserat på workshop-arbetet i branschens expertgrupp. På grundval av studien fastställdes modellerings-sättet och modelleringsnoggrannheten hos de delar som ingår i modellen för skyddsanordningar och elektrifierade spår samt attributinformation baserat på befintliga modelleringsmål. I studien upptäcktes ett behov av att utvidga InfraBIM-nomenklaturen också för behoven inom skyddsanordningsteknik och teknik för elektrifierade spår. För komplettering av InfraBIM-nomenklaturen skapades ett preliminärt förslag, i vilket det finns en egen nomenklaturgrupp för dessa system.

Öppna dataöverföringsformat och modelleringsprogramvaror har inte utvecklats för att motsvara behoven inom modellering av skyddsanordningar och elektrifierade spår. Utveckling av dataöverföringsformat och programvaror är en långsam procedur, vilket gör att man som dataöverföringsformat för modellerna inom dessa teknikslag tills vidare använder dwg-formatet. Dwg-formatet lämpar sig dock inte på lång sikt för användning inom dataöverföring. Således inleddes under arbetet en separat, noggrannare utredning av dataöverföringsformat för skyddsanordningar och elektrifierade spår.

Som verktyg för modellering av skyddsanordningar och elektrifierade spår bör man skapa färdiga kravenliga 3D-objekt av delarna i systemen. Under den närmaste framtiden bör man skapa ett publikt objektbibliotek där objekten är tillgängliga för samtliga aktörer.

De krav som har definierats i det här arbetet avser huvudsakligen byggplaneringsfasen. När utvecklingsarbetet framskrider borde man granska ändamålsenligheten för planeringens och modelleringens precisionsnivå under de tidigare planeringsfaserna. Modellerna för skyddsanordningar och elektrifierade spår borde utnyttjas mer också i byggfasen samt vid underhåll och egendomsförvaltning. Dessutom krävs det att de nuvarande handlings-sätten och processerna kontrolleras och uppdateras i en riktning som stöder modellbaserad verksamhet.

Eveliina Pulkkinen: Developing the Building Information Modelling for the Railway Signalling and Electrification Systems. Finnish Transport Agency, Project Management. Helsinki 2018. Thesis 3/2018. 73 pages and 2 appendices. ISSN 2343-1741, ISBN 978-952-317-561-7.

Abstract

The Finnish guidance for Infrastructure Built Environment Information Modelling (InfraBIM) consists of the Common InfraBIM Requirements, the InfraBIM Classification System and the specifications of data exchange formats. These guidelines and requirements do not yet cover all disciplines, such as railway signalling and electrification systems, which causes problems to model based projects. The main goal of this master's thesis is to create a framework for modelling the signalling and electrification systems by defining guidelines for BIM requirements, classification and data exchange format. Another goal of this work is to survey modelling technology, procedures and processes associated with modelling the signalling and electrification systems.

This work consists of two parts: the literature study and the empirical study. The literature study presents the principles of signalling and electrification systems and building information modelling. The empirical study rests on workshops with specialists. In this study, the elements that should be primarily included in the model, their modelling method and level of detail and the attribute data were defined based on current BIM goals. A need for the extension of the InfraBIM classification system was noticed and an initial proposal for completing the classification system was created. Signalling and electrification systems have their own classification groups in this proposal.

Open data exchange formats and BIM software products do not include signalling and electrification systems. The development is a long process, so the dwg format was determined to be a data exchange format for the moment. However, the dwg format is not suitable data exchange format in the long term. Thus, a more detailed study of data exchange format was launched during this work.

Ready-made 3D-objects that correspond requirements need to be created as tools for modelling the signalling and electrification systems. In near future, the public object library where these objects are available to all actors needs to be created.

The requirements specified in this work are mainly related to the construction design phase. The level of design and modelling in earlier design phases should be considered more closely as the development work proceeds. Models of signalling and electrification systems should be utilized more in the construction phase as well as in maintenance and asset management. In addition, current procedures and processes should be reviewed and updated to support BIM

Esipuhe

Tämä diplomityön on tehnyt Eveliina Pulkkinen osana diplomi-insinöörin tutkintoa Tampereen teknillisessä yliopistossa. Työ tehtiin WSP Finlandin palveluksessa Liikenneviraston tilauksesta. Liikenneviraston ohjausryhmässä olivat Tarmo Savolainen, Juha Kansonen ja Kristiina Laakso. Diplomityön ohjasivat ja tarkastivat Teppo Rauhala ja Hannele Kemppi WSP Finlandista sekä professori Pauli Kolisoja Tampereen teknillisestä yliopistosta.

Työn aihe oli erittäin ajankohtainen ja työlle oli tarvetta. Alalla oli jo pitkään puhuttu näiden tekniikka-alojen mallintamisen kehittämisestä, mutta alan yleistä kehitystyötä ei oltu viety pidemmälle. Tämän työn avulla saatiin aloitettua turvalaite- ja sähkörata-mallintamisen kehitystyö, jota on jatkettu diplomityön valmistumisen jälkeen pilotti-projekteissa.

Helsingissä kesäkuussa 2018

Liikennevirasto
Hankehallintaosasto

Sisällysluettelo

LYHENTEET JA MERKINNÄT	9
1 JOHDANTO	10
1.1 Tutkimuksen tausta	10
1.2 Tavoitteet ja rajaukset	11
1.3 Tutkimuksen suoritus	12
1.4 Tutkimusraportin rakenne	12
2 TURVALAITE- JA SÄHKÖRATATEKNIikka.....	13
2.1 Turvalaitetekniikka.....	13
2.2 Sähköratatekniikka	17
2.3 Turvalaite- ja sähköratasuunnittelu.....	20
3 INFRARAKENTEIDEN TIETOMALLINTAMINEN	23
3.1 Johdanto infrarakenteiden tietomallintamiseen	23
3.2 Inframallintaminen Suomessa.....	25
3.3 Tietomallipohjainen hanke	25
3.4 Yleiset inframallivaatimukset -ohjeistus	28
3.5 Tiedonsiirtoformaattit.....	29
3.5.1 Johdanto tiedonsiirtoformaatteihin.....	29
3.5.2 Inframodel	29
3.5.3 IFC.....	31
3.5.4 DWG.....	31
3.6 Nimikkeistö.....	32
4 TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	34
4.1 Haastattelut	34
4.2 Työpajat	35
4.2.1 Työpajojen organisointi	35
4.2.2 Työpaja 1: Taustat ja pohjustus.....	36
4.2.3 Työpaja 2: Mallintamisen sisältö ja tarkkuus.....	37
4.2.4 Työpaja 3: Mallinnustapa ja -tarkkuus sekä sisällytettävä tieto	38
4.2.5 Työpaja 4: Nimikkeistö ja dokumenttituotanto	40
4.2.6 Työpaja 5: Mallintaminen hankkeen eri vaiheissa	41
5 SUUNTAVIIVAT TURVALAITE- JA SÄHKÖRATATEKNIIKAN MALLINTAMISEN KEHITTÄMISEEN.....	43
5.1 Turvalaite- ja sähköratamallintamisen nykytilanne	43
5.2 Mallinnusvaatimukset	46
5.2.1 Mallinnettavat rakennusosat.....	46
5.2.2 Mallinnustapa	50
5.2.3 Attribuuttitiedot	53
5.3 Nimikkeistö.....	56
5.4 Tiedonsiirtoformaatti.....	58
5.5 Objektkirjasto	60
5.6 Tietomallintaminen hankkeen eri vaiheissa.....	61
5.7 Toimintatapojen ja prosessien kehittäminen.....	65

6	YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUSTARPEET	67
6.1	Yhteenveto	67
6.2	Jatkotoimenpiteet.....	70

LÄHTEET	71
---------------	----

LIITTEET

Liite A	Työpajojen 1–5 muistiot
Liite B	Turvalaite- ja sähköratajärjestelmien nimikkeistöehdotus

Lyhenteet ja merkinnät

BIM	Building Information Modelling, tietomalli
InfraBIM	Infrastructure Built Environment Information Modelling, inframalli
bSF	buildingSMART Finland
bSI	buildingSMART International
IFC	Industry Foundation Classes
JKV	Junan kulunvalvonta
YIV	Yleiset inframallivaatimukset

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennusala on parhaillaan suuren murroksen alla alan digitalisoituessa. Alalla siirrytään uusiin toimintatapoihin rakennushankkeiden toteutuksessa. Tietomallien, eli kohteesta luotujen kolmiulotteisten ominaisuustietojä sisältävien mallien, käyttäminen rakennushankkeen eri vaiheissa on talonrakennuspuolella jo arkipäivää. Myös infra-alalla ollaan siirtymässä tietomallipohjaisiin toimintatapoihin.

Tietomallintamisella pyritään kohteen kolmiulotteiseen havainnollistamiseen sekä tehostettuun tiedonhallintaan. Siirtyminen perinteisistä toimintatavoista täysin tietomallipohjaiseen toimintaan edellyttää suuria muutoksia. Siirtyminen etenee yleensä portaittain. 2D-tasossa olevista CAD-kuvista tyypillisesti seuraava askel on kohteen kolmiulotteinen visualisointi, jonka avulla pystytään hahmottamaan kohde paremmin ja varmistamaan rakennettavuus jo suunnitteluvaiheessa. Teknologian ja toimintatapojen kehittyessä kolmiulotteiseen mallin lisätään ominaisuustietoja. Kehityksen edetessä pyritään lisäämään tiedon koneluetavuutta sekä tehostamaan koko hankkeen elinkaaren kattavaa tiedonhallintaa ja -jakamista.

Rakennusalan tietomallintamista ohjaa Rakennustietosäätiön erikoispäätoimikunta buildingSMART Finland (bSF). bSF:n Infra-toimialaryhmä vauhdittaa infra-alan tietomallintamista. bSF on julkaissut infra-alan mallintamista ohjaavan Yleiset inframallivaatimukset (YIV) -ohjeistuksen. YIV-ohje määrittelee, mitä ja miten mallinnetaan. YIV-ohje on tarkoitettu myös hankintojen yleisiksi teknisiksi viiteasiakirjoiksi. Inframallivaatimusten lisäksi infra-alan mallintamista ohjaavat mallintamisen yhteisenä kielenä käytettävä InfraBIM-nimikkeistö sekä tietomallien tiedonsiirtoformaattien määrittelyt ja käyttöohjeet.

YIV-ohjeistus, InfraBIM-nimikkeistö ja tiedonsiirtoformatit eivät kata vielä kaikkia infran tekniikka-aloja. Kaikkien tekniikka-alojen mallintamiselle ei ole määritetty vaatimuksia ja luotu toimintatapoja. Tämä aiheuttaa haasteita tietomallipohjaiseen toimintaan siirryttäessä. Tilaajalla ja palveluntarjoajalla on oltava samanlainen näkemys mallintamisesta hankkeen eri vaiheissa. Mallipohjaisesti toteutetun työn tavoitteiden, sisällön ja toimitustapojen täytyy olla selkeät jokaiselle osapuolelle. Eri palveluntuottajilta on edellytettävä samanlaisia mallinnusvaatimuksia, jotta kaikki toimijat ovat samanarvoisessa asemassa.

Erityisesti suuria ratahankkeita on toteutettu mallipohjaisina, tuoreimpina esimerkeinä Riihimäen kolmioraide sekä parhaillaan käynnissä oleva Pasila–Riihimäki-rataosan välityskyvyn nostaminen. Seinäjoki–Oulu-ratahankkeen Kokkolan ja Ylivieskan välinen kaksoisraideosuus on toiminut inframallintamisen pilottikohteena. Kokkola–Ylivieska-välillä inframallintamista hyödynnettiin suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Kokemukset mallipohjaisista ratahankkeista ovat olleet positiivisia. Muun ratasuunnittelun siirtyessä mallipohjaisiin toimintatapoihin radan turvalaite- ja sähköratajärjestelmät suunnitellaan edelleen pääosin perinteisillä menetelmillä. Inframallintamisen ohjeet eivät sisällä vaatimuksia ja ohjeita näille tekniikka-aloille. Tämä aiheuttaa ongelmia näiden tekniikka-alojen mallipohjaiseen tilaamiseen ja suunnitteluun, sillä misään ei ole selkeästi määritetty, mitä turvalaite- tai sähköjärjestelmän tietomalli sisäl-

tää ja millä tarkkuustasolla. Jotta mallipohjainen tilaaminen ja suunnittelu voidaan toteuttaa sujuvasti, täytyy määrittää vaatimukset ja toimintatavat myös näiden tekniikka-alojen mallintamiselle.

Täysin tietomallipohjaiseen toimintaan siirtyminen turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osalta edellyttää vaatimusten määrittämisen lisäksi merkittävää toimintatapojen muutosta ja teknologian kehitystä. Ensimmäinen askel siirtymävaiheessa on vaatimusten mukainen kolmiulotteinen havainnollistaminen, joka palvelee nykyisiä mallinnustavoitteita. Kolmiulotteisella havainnollistamisella saadaan paljon etuja verrattuna perinteiseen 2D-tasossa tapahtuvaan suunnitteluun, vaikka kyseessä ei vielä tällöin olekaan älykäs ja kehittynyt tietomalli. Sisällyttämällä myös turvalaite- ja sähköratajärjestelmät infrakohteen yhdistelmämalliin, pystytään varmistamaan eri tekniikka-alojen yhteensovitus sekä visualisoimaan kohteen toteutus. Kun perusasiat ovat kunnossa, tietomallintamista voidaan lähteä kehittämään pidemmälle.

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Tämä työ on ensimmäinen osa Liikenneviraston turvalaite- ja sähköratamallintamisen kehitystyötä. Ensimmäisen osuuden tavoitteena on luoda pohja turvalaite- ja sähköratatekniikan tietomallintamiselle. Tämän diplomityön päätavoitteena on määrittää suuntaviivat turvalaite- ja sähköratamallintamisen vaatimuksille siten, että ne palvelevat nykyisiä mallinnustavoitteita. Työssä selvitetään, mitä osia ja tietoa malliin tulisi ensisijaisesti sisällyttää sekä määritetään mallinnettavien osien mallinnustapa ja -tarkkuus. Lisäksi tarkastellaan tietomallintamisen nimikkeistön soveltuvuutta näille tekniikka-aloille ja selvitetään eri tiedonsiirtoformaattien sopivuutta turvalaite- ja sähköratamallien siirtoon.

Työn alatavoitteina on selvittää turvalaite- ja sähköratamallintamisen nykytilannetta ja tulevaisuudennäkymiä Suomessa ja kansainvälisesti. Lisäksi alatavoitteena selvittää nykyisen mallinnusteknologian hyödyntämistä laajemmin turvalaite- ja sähköratamallintamisessa. Työn alatavoitteena on myös kartoittaa turvalaite- ja sähköratasuunnitteluun liittyvien nykyisten toimintatapojen ja prosessien ongelmakohtia, jotta toimintatapoja ja prosesseja voidaan kehittää mallipohjaista toimintaa tukevaan suuntaan.

Liikenneviraston turvalaite- ja sähköratamallintamisen kehitystyön on tarkoitus jatkaa vielä tämän työn jälkeen. Tämän diplomityön tulosten pohjalta luodaan pilotointiohje turvalaite- ja sähköratamallintamiseen. Pilotointiohjeessa määritetään ensisijaisesti mallinnettavat turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osat sekä niiden mallinnustapa ja -tarkkuus, sisällytettävät ominaisuustiedot, käytettävä mallinnusnimikkeistö sekä tiedonsiirtoformaatti. Pilotointiohjetta testataan pilottihankkeissa. Pilotoinnista saatujen kokemusten perusteella vaatimuksia ja ohjeita päivitetään. Lopulliset vaatimukset sisällytetään osaksi yleisiä mallinnusohjeita eli YIV-ohjetta, InfraBIM-nimikkeistöä sekä tiedonsiirtoformaattien määrittelyä ja käyttöohjeita. Pilotointi ja muut kehitystyön jatkotoimenpiteet rajataan tämän diplomityön ulkopuolelle.

Ensimmäisen osuuden tavoitteena on lisäksi luoda suuntaviivat turvalaite- ja sähköratamallintamisen kehitystyön jatkolle selvittämällä suositukset jatkotoimenpiteille ja tarkemmille tutkimustarpeille. Tavoitteena on myös saada turvalaite- ja sähköratatekniikan parissa olevat eri toimijat saman pöydän ääreen keskustelemaan aiheesta ja kertoamaan näkemyksensä, jotta vaatimukset saadaan kehitettyä realistisiksi ja järkeviksi.

Tietomallipohjaiseen toimintaan siirtymiseen liittyy iso toimintatapakulttuurin muutos, joten tällä työllä ja työn yhteydessä järjestetyllä työpajatyöskentelyllä pyritään myös luomaan eri toimijoille selkeämpää kuvaa tietomallintamisesta ja uusista toimintatavoista.

Tässä työssä ei oteta kantaa siihen, kuinka ja millä ohjelmistoilla palveluntuottajien tulee tuottaa aineistot. Työssä ei myöskään luoda suoranaisesti vaatimuksia ohjelmistojen kehittämiseksi. Tämän työn tarkoituksena on määrittää nykyisiä resursseja ja tavoitteita vastaavat lopputuotteen sisältö, tarkkuustaso sekä toimitustapa. Tässä työssä määritetään yleisesti alalla käytettävät vaatimukset asettamatta palveluntuottajia eri arvoiseen kilpailuasemaan. Eri palveluntuottajat voivat luoda kilpailuetua esimerkiksi kehittämällä organisaation sisäisiä toimintatapoja tai ohjelmistoja.

1.3 Tutkimuksen suoritus

Tässä diplomityössä käytetään kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Taustatutkimuksessa perehdytään turvalaite- ja sähköratatekniikan sekä inframallintamisen perusteisiin kirjallisuustutkimuksen avulla. Tutkimuksen empiirisessä osuudessa haastatellaan asiantuntijoita ja järjestetään asiantuntijaryhmän työpajoja. Haastattelujen avulla selvitetään turvalaite- ja sähköratamallintamisen nykytilannetta sekä kehitysnäkymiä. Lisäksi haastattelujen avulla suunnitellaan karkeasti työpajojen runko. Työpajat ovat avoimia kaikille alan asiantuntijoille. Tavoitteena on saada osallistujiksi eri osapuolten, kuten tilaajan, suunnittelijan sekä ohjelmistokehittäjän edustajia, joiden avustuksella kartoitetaan edellytyksiä mallintamisen kehittämiseksi.

Työpajojen pohjalta määritetään suuntaviivat turvalaite- ja sähköratamallintamisen vaatimuksille, ohjeistukselle sekä toimintatapojen kehittämiseksi. Tulosten pohjalta luodaan pilotointiohje turvalaite- ja sähköratamallintamiseen sekä esitetään jatkotoimenpiteet. Kehitystyö jatkuu tämän diplomityön jälkeen erillisissä projekteissa.

1.4 Tutkimusraportin rakenne

Tutkimusraportti koostuu kuudesta luvusta. Ensimmäisessä luvussa, eli johdannossa, esitellään tutkimuksen tausta, tavoitteet ja rajaukset, toteutustapa sekä tutkimusraportin rakenne. Toisessa luvussa lukija perehdytetään turvalaite- ja sähköratatekniikan perusteisiin. Kolmannessa luvusta esitellään yleisesti infra-alan tietomallintamista sekä aiheeseen liittyviä käsitteitä. Kolmannessa luvussa perehdytään myös tarkemmin Suomen inframallintamisen nykytilanteeseen sekä vaatimukseen ja ohjeistukseen.

Neljännessä luvussa esitellään tarkemmin aineistonkeruumenetelminä käytetyt haastattelut ja työpajat sekä tehdään yhteenveto jokaisen työpajan sisällöstä. Viidennessä luvussa esitellään turvalaite- ja sähköratamallintamisen nykytilanne ja tulevaisuuden näkymät Suomessa ja kansainvälisesti. Lisäksi viidennessä luvussa esitellään taustatutkimuksen ja työpajojen perusteella määritetyt suuntaviivat turvalaite- ja sähköratatekniikan mallinnusvaatimuksille, nimikkeistölle sekä tiedonsiirtoformaatile. Edelleen viidennessä luvussa pohditaan tietomallintamisen hyödyntämistä hankkeiden eri vaiheissa sekä suunnittelu- ja mallinnusprosessien kehittämistä tietomallintamista tukevaan suuntaan. Kuudennessa luvussa tehdään yhteenveto työn sisällöstä sekä esitellään jatkotutkimustarpeet.

2 Turvalaite- ja sähköratatekniikka

Turvallisen, tehokkaan ja ekologisen liikennöinnin kulmakiviä ovat rataverkon toimivat turvalaite- sekä sähköratajärjestelmät. Radan turvalaitteet koostuvat radalla sekä junissa olevista komponenteista sekä liikenteenohjausjärjestelmästä. Turvalaitejärjestelmän avulla varmistetaan turvallinen liikennöinti radalla. Turvalaitejärjestelmän avulla valvotaan muun muassa, että kalusto noudattaa määrättyjä nopeuksia, sekä varmistetaan kalustolle vapaat kulkutiet.

Hieman yli puolet Suomen rataverkosta on sähköistettyä rataa, jolla voidaan liikennöidä sähkövetureilla dieselvetureiden sijasta. Liikennevirasto kehittää jatkuvasti sähköistettyjä rataosuuksia. Rataosuuksien sähköistäminen tekee liikennöinnistä tehokkaampaa, kun tarve veturin vaihdolle poistuu siirryttäessä sähköistämättömälle osuudelle. Lisääntyvä sähkövetoisen kaluston käyttö parantaa energiatehokkuutta.

2.1 Turvalaitetekniikka

Rautatien turvalaitteet muodostavat turvalaitejärjestelmän, jonka avulla varmistetaan turvallinen liikennöinti radalla sekä muodostetaan radan liikenteenvälityksen kapasiteetti. Turvalaitteiden avulla varmistetaan muun muassa, että tietyllä osuudella rataa on vain yksi yksikkö kerrallaan, ja että kuljettajat noudattavat opasteita sekä nopeusrajoituksia. Lisäksi turvalaitteilla ohjataan tieliikennettä tasoristeyksissä. Radan turvalaitejärjestelmä koostuu radalla ja kalustossa olevista komponenteista sekä näiden komponenttien ohjausjärjestelmistä.

Turvalaitteiden suunnittelua ja rakentamista ohjaavat Liikenneviraston Ratateknisten ohjeiden (RATO) osat 6 ”Turvalaitteet” ja 10 ”Junien kulunvalvonta”. Liikennevirasto on määritellyt, että uuden turvalaitejärjestelmän on täytettävä vaadittu turvallisuustaso eurooppalaisen CENELEC-normiston mukaan. Yksittäinen vika turvalaitejärjestelmässä ei saa haitata turvalaitejärjestelmän toimintaa, vaan järjestelmän on ohjaututtava turvalliseen tilaan hallitusti. Jokainen turvalaite on yksilöitävä tunnuksella kyseisessä turvalaitejärjestelmässä. (Liikennevirasto 2014a)

Suojastetulla radalla tarkoitetaan asetinlaitteella tai suojastusjärjestelmällä varustettuja raiteita. Suojastettu rata on varustettava raiteen vapaanaolon valvonnalla ja liikennettä ohjattava opasteilla. Asetinlaitteen avulla varmistetaan radan liikennepaikoilla kalustolle turvalliset kulkutiet. Kulkutie on junaliikenteelle tai vaihtotyössä olevalle yksikölle varmistettu määrättyjen alku- ja päätepisteiden välinen reitti. Asetinlaite varmistaa tiettyjen kulkutie-ehtojen toteutumisen, jotta kulkutie saadaan varmistettua. Kulkutie-ehdoilla varmistetaan, että osuus, jolle kulkutie muodostetaan, on turvallinen. Kulkuteiden varmistamisella pidetään huolta, ettei kaksi yksikköä käytä samaa tai vastakkaissuuntaista kulkutietä samanaikaisesti. Kulkutie-ehtojen toteuduttua asetinlaite toteuttaa kulkutien varmistamiseen liittyvät toimenpiteet, kuten lukitsee vaihteet oikeisiin asentoihin ja muuttaa yksikön kuljettajaa visuaalisesti ohjaavien opastimien opasteet oikeanlaisiksi. (Liikennevirasto 2014b)

Suojastusjärjestelmä on asetinlaitejärjestelmää vastaava järjestelmä, jolla varmistetaan kaluston turvallinen kulku liikennepaikkojen ulkopuolella eli linjaosuudella. Järjestelmä perustuu suojastusehtoihin, joiden avulla varmistetaan yksiköiden kulku suojaväleillä. Järjestelmän avulla ohjataan yksiköiden peräkkäistä kulkua linjalla sekä varmistetaan, ettei synny liikennesuunnan vastaisia kulkuteitä. Yksiköiden kulkua ohjataan opastimilla, jotka sijaitsevat suojaväliltä toiselle siirryttäessä. Yksinkertaisimmillaan suojastusjärjestelmänä käytetään asemavälisuojustusta, jolloin suojaväli on kahden liikennepaikan tulo-opastimien välinen osuus. Liikennevälityskapasiteetin kasvattamiseksi linjaosuuksia voidaan jakaa myös useampaan suojaväliin. (Liikennevirasto 2014b)

Raiteen vapaanaolon valvonta toteutetaan raideosuuksittain akselinlaskenta-antureilla tai raidevirtapiireillä. Akselinlaskentaan perustuvassa vapaanaolon valvonnassa kiskoihin kiinnitetyt akselinlaskenta-anturit laskevat raideosuudelle menevät ja sieltä poistuvat pyöräkerrat. Akselinlaskijalta saadun tiedon perusteella voidaan päätellä, onko osuus vapaa vai varattu. Raidevirtapiiriin perustuva vapaanaolon valvonta perustuu siihen, että raide on jaettu sähköisiksi kokonaisuuksiksi raide-eristyksillä, jolloin osuuden kiskot muodostavat raidevirtapiiriin. Raideosuudelle saapuva yksikkö aiheuttaa virtapiiriin oikosulun, jolloin voidaan päätellä osuuden olevan varattu.

Opastimet ovat kuvan 1 mukaisia radan varrella olevia turvalaite-elementtejä, jotka näyttävät liikenteenohjaukselta saadut käskyt radalla liikkuvalla kalustolle. Junaliikennettä ohjaavat pääopastin, esiopastin, raideopastin, suojastusopastin ja yhdistelmäopastin. Muuta liikennettä ohjaavat lukitusopastin, tasoristeysopastin, järjestelyopastin ja toisto-opastin. Pääopastin antaa radalla liikkuvalla yksikölle tiedon varmistetusta junakulkutiestä. Vähän ennen pääopastinta sijaitsevalla esiopastimella annetaan tieto seuraavan pääopastimen opasteesta. Raideopastin antaa radalla liikkuvalla yksikölle tiedon varmistetusta vaihtokulkutiestä. Raideopastinta käytetään ohjaamaan vain vaihtotyötä. Suojastusopastimella näytetään tieto varmistetusta suojavälistä. Suojastusopastinta käytetään ainoastaan vanhassa suojastusjärjestelmässä. Yhdistelmäopastin on Liikenneviraston ”Opastinjärjestelmä 2010”-projektissa kehitetty opastin, jolla voidaan korvata vanhoja radan opastimia (Liikennevirasto 2014c). Yhdistelmäopastimella voidaan näyttää pääopastimen, esiopastimen sekä raideopastimen opasteet. Yhdistelmäopastimia ei ole vielä laajemmin käytössä muutamaa pilottikohdetta lukuun ottamatta. (Liikennevirasto 2014b)



Kuva 1. Pää- ja esiopastin opastinmastossa (Liikennevirasto 2014b)

Kuvassa 2 on esitetty yleisimmät opastimet; pääopastin ja esiopastin. Opastinmastossa ylempänä sijaitsee kaksivaloinen pääopastin. Pääopastin voi olla myös kolmivaloinen. Pääopastimen alla on esiopastin, joka näyttää ennakkotiedon seuraavan pääopastimen opasteesta. Pää- ja esiopastimet voidaan sijoittaa myös portaalin kuvan 2 mukaisesti.



Kuva 2. Kolme opastintaulua opastinportaalissa (Liikennevirasto 2014e)

Opastinten sijoittamiseen liittyy useita tekijöitä, jotka on otettava suunnittelussa huomioon. Huomioon otettavia tekijöitä ovat esimerkiksi pääopastimen näkemävaatimus, aukeantilan ulottuma, sähköradan erotusjaksot ja imumuuntajat, esiopastinetäisyys, tasoristeykset, matkustajalaiturit sekä raiteen pituuskaltevuus. (Liikennevirasto 2014a)

Junien kulunvalvonta -järjestelmä (JKV-järjestelmä) valvoo radalla liikkuvan kaluston nopeusrajoitusten sekä opasteiden noudattamista. JKV-järjestelmä muodostuu JKV-veturilaitteista sekä JKV-ratalaitteista. JKV-veturilaitteet ovat liikkuvassa kalustossa sijaitsevat laitteet. JKV-ratalaitteet ovat baliisien ja niihin liittyvien komponenttien muodostama kokonaisuus, jotka on kytketty opastimiin ja asetinlaitteisiin. Baliisi on ratapölkkyyn kiinnitetty laite, joka toimii sanomien vastaanottimena ja lähettimenä. Baliiseja ohjataan koodaimilla, jotka on kytketty opastimiin. Koodain tulkitsee opastimen näyttämää opastetta ja lähettää opastimen näyttämän sanoman baliiseille. Baliisit välittävät tiedot vetureille JKV-veturilaitteiden välityksellä. Baliisi voi olla myös ohjaamaton, jolloin sitä ei ole kytketty opastimiin. Ohjaamaton baliisi välittää määritetyn vakiosanoman, esimerkiksi nopeusrajoituksen. (Liikennevirasto 2014d)

Muita radan turvalaittejärjestelmän osia ovat varoituslaitokset sekä vaihteiden turvalaitteet. Varoituslaitos on tasoristeyksen tai laituripolun yhteydessä oleva järjestelmä, jonka avulla turvataan raideliikenteen ja muun liikenteen risteäminen samassa tasossa. Varoituslaitos koostuu muun muassa tieopastimista, puomeista, äänivaroituslaitteista sekä näiden ohjausyksiköstä. Kuvassa 3 on esitetty tasoristeyksen puomilaitos sekä tieliikennettä ohjaavat opastimet. Vaihteisiin liittyviä turvalaitteita ovat muun muassa vaihteen kääntölaitteet, raiteensulut, pysäytyslaitteet, varmistuslukot, painikkeet ja avainsalpalaitteet, jotka varmistavat vaihteiden turvallisen toiminnan. Vaihteen kääntölaitteet, varmistuslukot, painikkeet ja avainsalpalaitteet liittyvät vaihteiden oikeaan asentoon kääntämisen ja lukitsemisen turvaamiseen. Raiteensulun tarkoituksena on suistaa muuta liikennettä vaarantava yksikkö kiskoilta. Pysäytyslaitteen tarkoituksena taas on pysäyttää esimerkiksi ratapihalla karanneet vaunut suistamatta niitä raiteilta. (Liikennevirasto 2014b)



Kuva 3. Tasoristeyksen puomilaitos (Liikennevirasto 2012)

2.2 Sähköratatekniikka

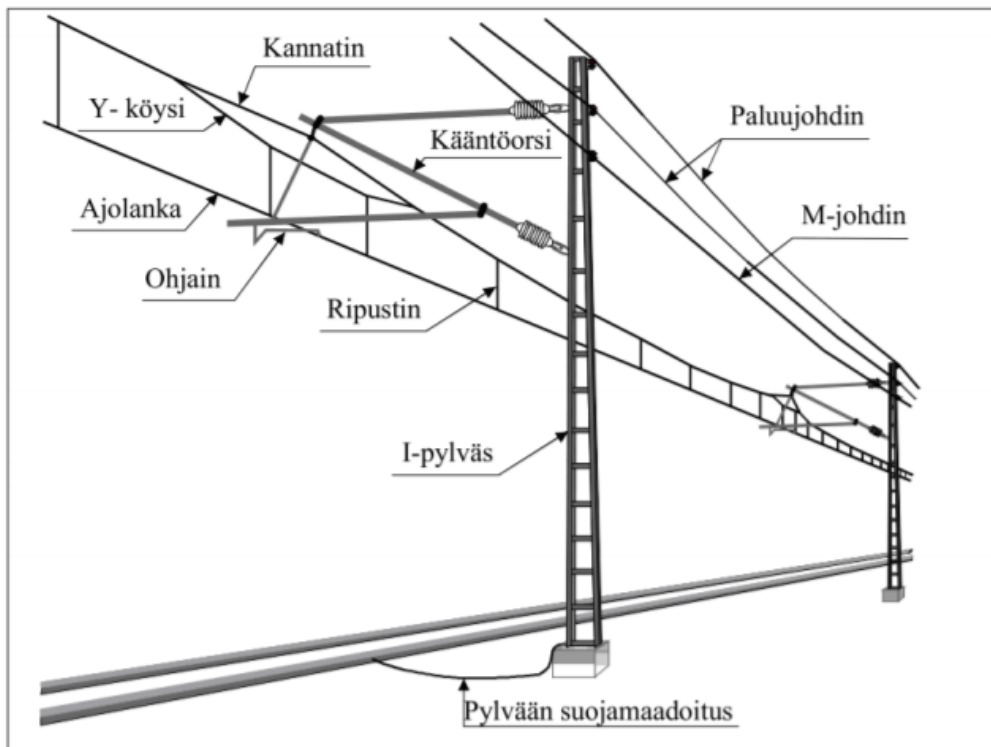
Sähköradalla tarkoitetaan sähköistettyä rataosuutta, jolla voi liikennöidä sähkövetoisella kalustolla. Suomessa noin 6 000 km pituisesta rataverkosta noin 3 270 km on sähköistetty. Suomessa sähköradan jännite on 25 kV ja taajuus 50 Hz. (Liikennevirasto 2017a)

Sähkörata koostuu karkeasti kolmesta järjestelmästä: syöttöjärjestelmästä, ratajohdosta sekä sähköradan kaukokäyttöjärjestelmästä. Syöttöjärjestelmän tehtävänä on siirtää sähköenergia valtakunnanverkosta sähköradalle. Ratajohdon avulla siirretään sähkö syöttöjärjestelmän syöttöasemilta juniin. Sähköradan kaukokäyttöjärjestelmän avulla valvotaan ja ohjataan sähkörataverkkoa käyttökeskuksista.

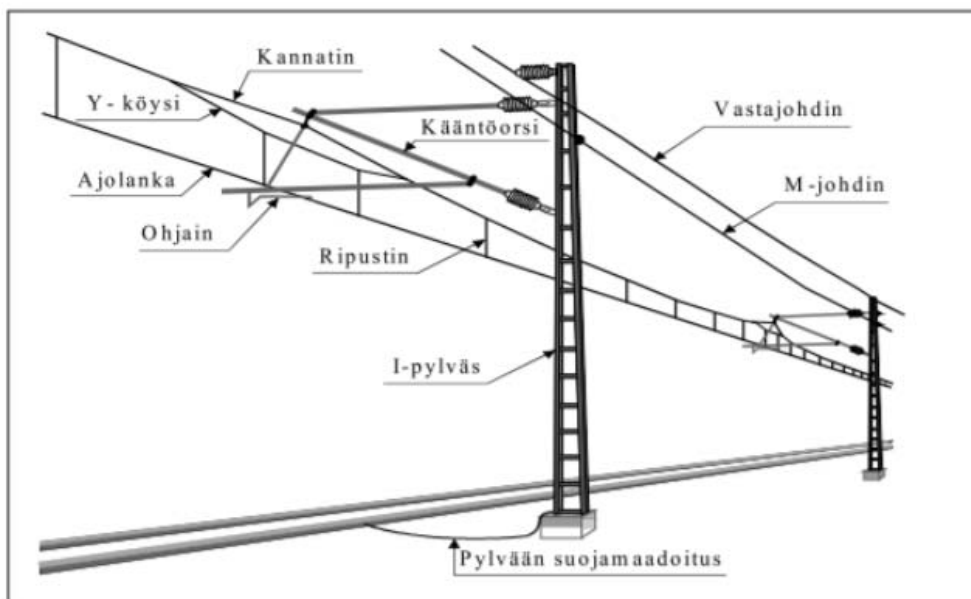
Syöttöjärjestelmään kuuluvat syöttöasemat sekä välikytkinasemat. Syöttöasemat ja välikytkinasemat ovat sähkötiloja, joissa on sähkön syöttöön liittyviä laitteita. Syöttöasema on kytkinlaitos, josta teho syötetään sähköradalle. Välikytkinasema on kahden syöttöaseman välissä oleva kytkinlaitos. Syöttöjärjestelmä mitoitetaan liikenne-ennusteen suurimman junamäärän perusteella ottaen huomioon junatyypit, junapainot sekä vetokaluston ottama teho ja tehokerroin. (Liikennevirasto 2013)

Suomessa on käytössä kahta eri sähköistysjärjestelmää: imumuuntajin varustettu 25 kV:n sähköistysjärjestelmä sekä säästömuuntajin varustettu 2x25 kV:n sähköistysjärjestelmä. Yleisemmin käytössä olevassa 25 kV:n sähköistysjärjestelmässä 25 kV:n käyttöjännite syötetään ajojohtimen ja paluukiskon väliin. 2x25 kV:n sähköistysjärjestelmässä ajojohtimen ja paluukiskon väliin syötetyn 25 kV:n jännitteen lisäksi vastajohtimen ja paluukiskon väliin syötetään -25 kV:n jännite. Sähköistysjärjestelmä valitaan kustannusperustein 110 kV verkoston saavutettavuuden mukaan. (Liikennevirasto 2013)

Ratajohto muodostuu kuvien 4 ja 5 mukaisesti ajojohtimesta ja järjestelmästä riippuen joko paluujohtimesta tai vastajohtimesta sekä kannatusrakenteista ja varusteista. Ajojohdin syöttää virroittimen välityksellä sähköä sähkövetoiseen kalustoon. Ajojohdin koostuu ajolangasta, josta virroitin ottaa tehoa, sekä kannattimesta sekä niihin kuuluvista liitännöistä, liittimistä, eristimistä ja muista varusteista kuten syöttö- ja ohitusjohtimien liitännöistä ja kääntöorren ohjaimesta. Ajojohdinta kannattelee vaakasuunnassa kääntyvä kääntöorsi, joka on kiinnitetty pylvääseen tai portaaliin. Kääntöorsi voi olla joko puristusorsi tai veto-orsi. Puristusorressa ajolangan kulmavoima vaikuttaa kääntöorren kiinnityskohtaa päin, kun taas veto-orressa kulmavoima vaikuttaa kiinnityskohdasta pois päin tai on suuruudeltaan nolla. (Liikennevirasto 2013)

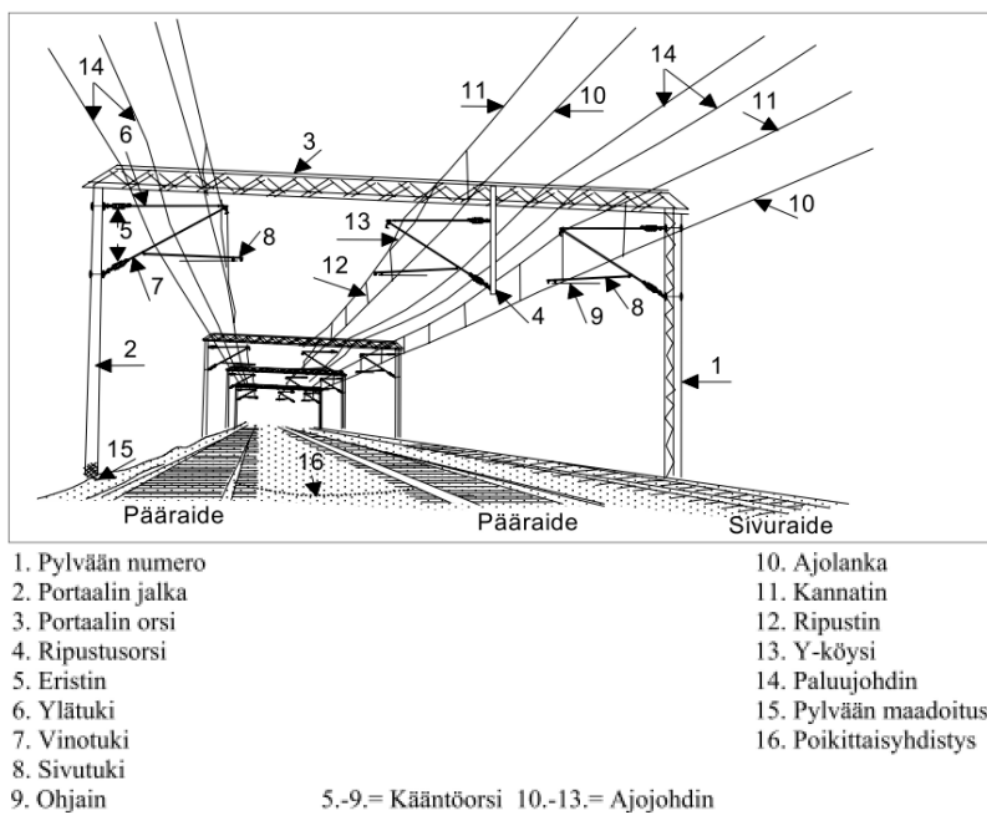


Kuva 4. Ratajohto avorataosuudella: 25 kV -järjestelmä (Liikennevirasto 2013).



Kuva 5. Ratajohto avorataosuudella: 2x25 kV -järjestelmä (Liikennevirasto 2013)

Teräksiset sähköratapylväät jaotellaan I-, P-, ja R-pylväisiin. Lisäksi imumuuntajatelineessä käytetään IM-pylvästä, joka on rakenteeltaan samanlainen kuin I-pylväs. Pylväiden pituudet, paarrekoot, parerityypit sekä pohjalevyn reikävälit vaihtelevat. Käytetty pylvästyyppeä valitaan kuormituksen ja käyttötavan mukaan. Pylväät numeroidaan sijaintinsa perusteella ratakilometrien mukaan, jonka jälkeen on pylvään tyyppin mukaan joko väliiiva (I-pylväs), kauttaviiva (P-pylväs) tai X-kirjain (R-pylväs) sekä juokseva numero. Sähkörataportaali on kannatusrakenne, joka muodostuu jalkoina toimivista pylväistä sekä niitä yhdistävistä portaaliorsista. Portaalityyppejä on kevyt, keskiraskas ja raskas P-portaali sekä kevyt ja raskas kehäportaali. P-pylväitä käytetään P-portaalin jalkoina ja R-pylväitä kehäportaalin jalkoina. Kuvassa 6 on esitetty 25 kV -järjestelmän ratajohdon sekä kannattelevan portaalin rakenne ratapihalla. (Liikennevirasto 2013)



Kuva 6. 25 kV -järjestelmän ratajohdon osat ratapihalla (Liikennevirasto 2013)

Pylväiden perustukset suunnitellaan Liikenneviraston sivukuormitettujen pylväsperustusten suunnitteluohjeen mukaisesti (Liikennevirasto 2016a). Perustamistapoja ovat maanvarainen anturaperustus, kallionvarainen perustus sekä yhden paalun tai paaluryhmän käsittävä paaluperustus (Liikennevirasto 2016a). Perustuksen pinnan korkeus on normaalisti 10 cm raiteen keskiviivan yläpuolella. Joissain tapauksissa pylväät on harustettava. (Liikennevirasto 2013)

2.3 Turvalaite- ja sähköratasuunnittelu

Turvalaite- ja sähköratasuunnittelu ovat keskeisessä roolissa ratahankkeiden suunnittelussa. Eri tekniikka-alojen suunnittelun yhteensovitus suunnitteluprosessin alusta aina työvaihesuunnitteluun saakka on tärkeää parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Suunnitelmaratkaisuja laadittaessa on huomioitava koko ratainfrastruktuuri, ja tekniikka-alojen osaoptimointia on vältettävä. Kaikkien tekniikka-alojen reunaehdot on otettava huomioon. (Liikennevirasto 2014b)

Tilaaja määrittelee hankkeen suunnitteluperusteissa, mitä suunnitelmissa esitetään ja missä laajuudessa. Suunnitteluperusteissa on määritetty hankekohtaisesti noudatettavat tekniset ratkaisut ja toimintatavat. Yleisellä tasolla turvalaitesuunnittelua ohjaavat Liikenneviraston Ratateknisten ohjeiden (RATO) osat 6 Turvalaitteet ja 10 Junien kulunvalvonta JKV. Turvalaitesuunnittelussa tuotettavien dokumenttien sisältö vaihtelee hankkeen sisällön mukaan. Tyypillisesti tuotetaan ainakin seuraavat dokumentit (Ratahallintokeskus 2008):

- yleiskaavio
- sijoitussuunnitelma
- hyötypituus- ja valvontanopeustarkastelu
- elementtiluettelo
- opastinperustusluettelo
- radan merkkiluettelo
- kulkutie-, suojaus- tai lukitustaulukko
- kaapelireittisuunnitelmat (mm. kaapelireitit, alitusputket, kaapelikaivot, läpivientipölkkyt)
- JKV-suunnitelmat (mm. JKV-kaapeloinnit, -kulkutietaulukot, -tunnuslukotaulukot ja -konfiguraatiotaulukot)

Lisäksi hankekohtaisesti saatetaan tuottaa runsaasti muitakin dokumentteja, kuten vaihteiden eristämiseen, laitetiloihin tai tasoristeysvaroituslaitoksiin liittyviä suunnitelmia.

Yleiskaavio on yleisluontoinen esitys siitä, mitä kaikkea suunnittelualueella on. Sijoitussuunnitelma on ratageometriaan sidottu tarkempi esitys suunnittelualueesta. Näissä piirustuksissa esitetään suunnittelualueella olevat uudet, nykyiset ja poistettavat turvalaite-elementit radan kilometripaalutuksen mukaan metrin tarkkuudella. Suunnittelualueelle kuuluvista turvalaite-elementeistä tuotetaan lisäksi luetteloita, joissa turvalaitteet on luokiteltu tyyppinsä perusteella. Luetteloissa ilmoitetaan turvalaitteen yksilöivä tunnus, sijainti ratakilometripaalutuksen mukaan metrin tarkkuudella sekä tarvittaessa perustustapa ja muita huomioon otettavia tietoja. Suunnitelmissa ei yleensä määritetä elementtien tarkkaa sijaintia esimerkiksi suhteessa radan keskilinjaan. Rakennusvaiheessa turvalaitteet sijoitetaan tarkoille paikoilleen RATOssa määritettyjen vaatimusten mukaan.

Sähköratasuunnittelua ohjaa RATO:n osa 5 Sähköistetty rata. Sähköratasuunnittelussa tuotetaan tyypillisesti ainakin seuraavat dokumentit (Ratahallintokeskus 2008):

- sijoituskartat
- pylväsluettelot
- portaalikaaviot
- ajojohdin- ja kääntöorsiluettelot
- ripustintiedot
- pylväsmadoitusluettelot
- sähköiset liitännät

Sijoitussuunnittelun pohjaksi laaditaan yleensä yleiskaavio, jossa esitetään suunnittelualueen sähköistettävät raiteet, syöttö- ja välilytkinasemat, imu- ja säästömuuntajat, erotuskentät sekä erotusjaksot. Lisäksi yleiskaaviossa esitetään sähköradan jako eri kytkentäryhmiin. Kytkenäryhmä on kytkinlaitteiden, ryhmitseristimien, erotuskentän tai erotusjakson rajaama ratajohdon virtapiiriin yhtenäinen osa, jonka voi erottaa muusta ratajohdosta. Yleiskaavion pohjalta laaditaan tarkempi sijoituskartta. Sijoituskartassa esitetään ratajohtopylväiden, kannatusrakenteiden ja johtimien sijoitus. Sijoitussuunnittelu tehdään hyväksytyn raidegeometrian pohjalta, sillä ajojohtimen asema on sidottu raiteen geometriaan. Ajojohtimen tulee olla kaikissa sääolosuhteissa ja kuormitusolosuhteissa asemassa, jossa kaluston virranotto on mahdollista. Pylväiden sijoittamiseen vaikuttavat aukean tilan ulottuma, vaihteiden sijainti, ratageometrian kaarteet sekä muut rakenteet, kuten rummut ja sillat. (Liikennevirasto 2013; Rautoja 2012)

Sijoituskartan laatimisen jälkeen pidetään pylväspaikkakatselmus maastossa. Katselmuksessa pylväiden paikat merkitään tarvittaessa maastoon ja varmistetaan niiden sijoitus. Sijoitussuunnittelun perusteella laaditaan pylväsluettelot ja portaalikaaviot, joissa esitetään kannatusrakenteiden tyypit, mitat ja kuormitukset sekä niiden perustukset. Pylväsluettelossa esitetään paluu-, M- ja ohitusjohtimien sijoitus. (Liikennevirasto 2013; Rautoja 2012)

Ajojohtimien, kääntöorsien sekä ripustimien suunnittelua varten tarvitaan perustusten tarkat asemat sekä jänneväli eli etäisyydet perättäisten pylväiden välillä, joten suunnittelua varten mitataan perustusten lopulliset x,y,z-koordinaatit. Ajojohdintiedot esitetään ajojohdin- ja kääntöorsiluetteloissa. Mahdollisista johtimien sillan alituksista tehdään erilliset piirustukset. Ajojohdinsuunnitelman perusteella tehdään ripustinsuunnitelmat. Lopuksi määritetään vielä sähköiset liitännät. Sähköratasuunnitteluun sisällytetään yleisesti ottaen myös vahvavirtasuunnittelu, joka pitää sisällään kaapeloinnit ja vaihteenlämmityksen. (Liikennevirasto 2013)

Sähköratasuunnittelu toteutetaan sähköistyslaskentaohjelmien perusteella. Ohjelmat tuottavat piirustukset sekä koordinaatti-, kuormitus- ja johdintiedot. Lujuuslaskelmat suoritetaan ohjelmilla, joista saadaan tarvittavat voimat ja momentit sekä pylvästyypit ja portaalien osat. (Rautoja 2012)

Turvalaite- ja sähköratasuunnittelua tehdään edelleen pitkälti perinteisin menetelmin. Suunnittelupalveluita tuottavat toimijat ovat automatisoineet ja helpottaneet suunnitteluun liittyvien dokumenttien tuottamista muun muassa 2D-symbolikirjastoja avulla sekä ohjelmistoilla, joista saa luettua suoraan ulos elementtiluetteloita tai monimutkaisia kulkutietaulukoita. Suunnittelua ja tiedonhallintaa ei kuitenkaan toteuteta tieto-

mallipohjaisesti ja suunnitelmien 3D-mallintamistakin vaihtelevasti. Muu ratasuunnittelu toteutetaan pitkälti mallipohjaisena, joten myös näiden tekniikka-alojen suunnittelu olisi tärkeää saada muutettua tietomallipohjaiseksi. Siirtymällä tietomallipohjaisiin toimintatapoihin myös näiden tekniikka-alojen osalta voidaan parantaa eri tekniikka-alojen yhteensovitusta, suunnitelmien virheettömyyttä sekä havainnollistaa kohdetta paremmin.

Turvalaitesuunnitelmissa elementtien sijainnit esitetään tyypillisesti radan kilometri-paalutuksen mukaisesti. Suunnitelmissa ei ilmoiteta turvalaitteiden tarkkoja sijainteja esimerkiksi suhteessa radan keskilinjaan. Työmaalla turvalaitteet asennetaan RATOn määräysten mukaisesti ja yhteensovittaen muiden radan rakenteiden ja laitteiden kanssa. Mallintamalla elementit jo suunnitteluvaiheessa tarkasti oikeille paikoilleen, pystytään jo suunnitteluvaiheessa varmistamaan elementtien sijoittaminen ja yhteensovittaminen. Jos virheellinen sijoitus huomataan vasta rakennusvaiheessa, suunnitelmien korjaaminen aiheuttaa suurempia kustannuksia ja viiveitä aikatauluun.

Turvalaitteiden ja sähköratarakenteiden yhteensovittaminen toistensa sekä muiden liittyvien tekniikka-alojen, kuten ratarakenteen ja siltojen, kanssa on erittäin oleellista. Yhteensovituksessa on huomioitava esimerkiksi, että opastimet sijoitetaan riittävälle etäisyydelle sähköradan jännitteellisistä osista, erotusjaksoista, eristimistä ja erotuskentistä sekä etteivät esimerkiksi sähköratapylväät estä opastinten näkemävaatimuksia (Liikennevirasto 2014b). Sisällyttämällä myös turvalaitteet ja sähköratarakenteet yhdistelmämalliin saadaan varmistettua vaadittujen etäisyyksien ja näkemävaatimusten täyttyminen sekä muu yhteensovitus, esimerkiksi turvalaite- ja sähköratarakenteiden aiheuttavat levennykset ratapenkereeseen. Lisäksi turvalaite- ja sähköratasuunnitelmia voi olla vaikea hahmottaa pelkkien monimutkaisten tasokuvien avulla, joten niiden mallintaminen parantaa kohteen hahmottamista (Mäkelä 2014).

3 Infrarakenteiden tietomallintaminen

3.1 Johdanto infrarakenteiden tietomallintamiseen

Inframallintaminen eli infrarakenteiden tietomallintaminen, *Infrastructure Built Environment Information Modelling, InfraBIM*, tarkoittaa infrakohteen kolmiulotteista havainnollistamista ominaisuustietoineen (Liikennevirasto 2017b). Tietoa kuvataan ja tuotetaan mallipohjaisesti. Mallipohjainen tiedon käsittelytapa tarkoittaa tiedon käsittelyä tietokonesovelluksien ymmärtämänä mallina, jolloin sovellukset pystyvät automaattisesti tulkitsemaan mallin sisältämää tietoa (Serén 2014). Perinteinen tiedon käsittelytapa infrahankkeissa on dokumenttipohjainen, jolloin tietoja käsitellään ja siirretään dokumentteina, joita vain ihminen pystyy tulkitsemaan automaattisesti (Serén 2014).

Tietomallintamisen avulla infrarakennushanke voidaan viedä läpi tehokkaammin ja tiedonhallinta tehostuu. Ideaalitulanteessa tietomallintaminen on koko elinkaaren aikaista digitaalista tiedonhallintaa, jonka ansiosta tietoa ei huku eri vaiheiden välillä eikä samaa työtä tehdä useaan otteeseen. Myös tiedonvaihto eri osapuolten välillä parantuu, mikä on oleellista rakennushankkeen onnistumisen kannalta. Suunnittelutyö tehostuu, kun suunnittelu on mallipohjaista jokaisessa vaiheessa. Suunnitelmien virheet huomataan todennäköisemmin jo suunnitteluvaiheessa, minkä ansiosta rakennusvaiheessa pysytään paremmin aikataulussa ja kustannuksissa. Hankkeiden kustannusohjautuvuus paranee, kun jo suunnitteluvaiheessa saadaan selkeämpi käsitys kohteesta ja tarkemmat määrät. Rakentamisvaiheessa koneohjauksen ja mallipohjaisen laadunvalvonnan avulla kohde voidaan toteuttaa laadukkaammin. Tulevaisuudessa tietomallintaminen mahdollistaneekin myös tehokkaamman työvaiheistuksen työmaalla. Tulevaisuudessa tietomallintamisen hyödyntäminen keskittyy entistä enemmän myös kohteen hoitoon ja ylläpitoon sekä tietojen arkistointiin.

Tietomallintamista Suomessa vauhditti vuonna 2009 aloitettu InfraFINBIM-hanke, jonka tavoitteena oli siirtyä koko elinkaaren, kaikki tekniikka-alat, toimijat ja toiminnot sisältävään tietomallipohjaiseen toimintaan (Rakennustietosäätiö 2018). Hankkeen tavoitteena oli kehittää tietomallintamisen hankintamenettelyjä, rajapintoja ja standardeja sekä suunnittelun ja rakentamisen prosesseja. InfraFINBIM-hanke päättyi vuonna 2014, jonka jälkeen inframallintamista on voinut eteenpäin Rakennustietosäätiön päätoimikunta buildingSMART Finland (bSF). buildingSMART Finland kuuluu kansainväliseen buildingSMART-yhteisöön, johon kuuluu useita muita maita ympäri maailman. buildingSMART International (bSI) on maailmanlaajuinen organisaatio, joka kehittää tietomallintamiseen kansainvälisiä standardeja ja ajaa avoimen tietomallintamisen (*”open BIM”*) periaatteita. Avoimen tietomallintamisen tavoitteena on luoda kestävää tietoa, jota voidaan siirtää rakennushankkeen kaikille osapuolille riippumatta siitä, mitä ohjelmistoa käytetään. Tavoitteena on, että tieto olisi standardien mukaisesti järjesteltyä, ohjelmistoriippumatonta ja koneluettavaa läpi koko hankkeen elinkaaren aina suunnittelusta kunnossapitoon asti. bSI kehittää tähän tarkoitukseen avointa IFC-tiedonsiirtoformaattia. (bSI 2017a)

bSF:in alla toimii Infra-toimialaryhmä, joka on julkaissut inframallintamisen ohjenuoriksi Yleiset inframallivaatimukset (YIV) -ohjeistuksen. Inframallintamista ohjaa kuvan 7 mukaisesti YIV-ohjeistus, InfraBIM-nimikkeistö sekä mallintamisessa käytetyt tiedonsiirtoformaattit (Liikennevirasto 2017b). Yleiset inframallivaatimukset määrittävät, mitä ja miten mallinnetaan. InfraBIM-nimikkeistö määrittää mallintamisessa käytetyn yhteisen kielen, jolla pyritään koneluettavuuteen ja tehokkaaseen tiedonhallintaan. Tiedonsiirtoformaattit sisältävät määrittelyt ja käyttöohjeet mallintamisessa käytettävään avoimeen tiedonsiirtoon. Sujuvan mallintamisen ja tiedonhallinnan varmistamiseksi tiedonsiirtoformaattien, nimikkeistön ja mallinnusvaatimusten on oltava yhte-nevät (bSF 2017a, osa 2).



Kuva 7. *Infra-alan mallintaminen perustuu yhteisiin mallinnusvaatimuksiin, nimikkeistöön sekä tiedonsiirtoformaattien määrittelyihin ja käyttö-ohjeisiin (Liikennevirasto 2017b)*

Liikennevirasto osallistuu inframallintamisen kehitystyöhön ja tukee aktiivisena toimijana alan sovelluskehitystä ja uusien menetelmien käyttöönottoa. Liikennevirasto ohjeistaa noudattamaan inframallintamisessa edellä esitettyä kolmiosaista ohjekokonaisuutta. Lisäksi Liikennevirasto täydentää yleisiä ohjeita omilla tietomalleihin liittyvillä ohjeilla ja ohjeluonnoksilla. Diplomityön julkaisuhetkellä mallinnustyössä noudatettavia Liikenneviraston ohjeita ovat (Liikennevirasto 2018):

- Siltojen tietomalliohje (6/2014)
- Tie- ja ratakankkeiden inframalliohje (12/2017)

3.2 Inframallintaminen Suomessa

Infra-alan tietomallintaminen on edennyt viime vuosina Suomessa voimakkaasti, vaikkakin kehitys tulee jäljessä verrattuna esimerkiksi talonrakennusalaan. Tällä hetkellä inframallintamista hyödynnetään Suomessa lähinnä suunnittelu- ja toteutusvaiheissa. Tavoitteena olisi hyödyntää tietomallintamista hankkeissa koko elinkaaren ajan aina lähtötietojen kokoamisesta kohteen kunnossapitoon ja hoitoon sekä tietojen arkistointiin. Inframallintamista on hyödynnetty pääasiassa suuremmissa infrahankkeissa. Pienemmissä hankkeissa mallintamista käytetään lähinnä suunnittelutyökaluna, mutta tilaajat eivät edellytä tietomallin toimittamista eikä tietomallia käytetä hyväksi suunnittelutyön ulkopuolella.

Inframallintamisen laajamittaisempaa hyödyntämistä on pilotoitu esimerkiksi Seinä-joki–Oulu-ratahankkeessa Kokkolan ja Ylivieskan välisellä kaksoisraideosuudella. Hankkeessa inframallintamista hyödynnettiin niin suunnittelutyössä kuin rakennusvaiheessakin. Kokkola–Ylivieska-osuudella suunnittelutyön tuloksena saatiin inframallit, joita hyödynnettiin muun muassa suunnitelmien tarkastuksessa, työnjohdon työsuunnittelussa sekä työkoneautomaatiossa. Pilottihankkeessa kokemukset olivat positiivisia ja mallintamisen koettiin tuovan hyötyjä muun muassa työn laadun ja tuottavuuden parantuksessa (Liikennevirasto 2016b). Pilottihankkeesta toteutetussa BIM-kyselyssä nostettiin esille joidenkin liittyvien tekniikka-alojen, kuten turvalaitteiden ja sähköratarakenteiden, puuttuminen yhdistelmämallista (Kaaranka 2016).

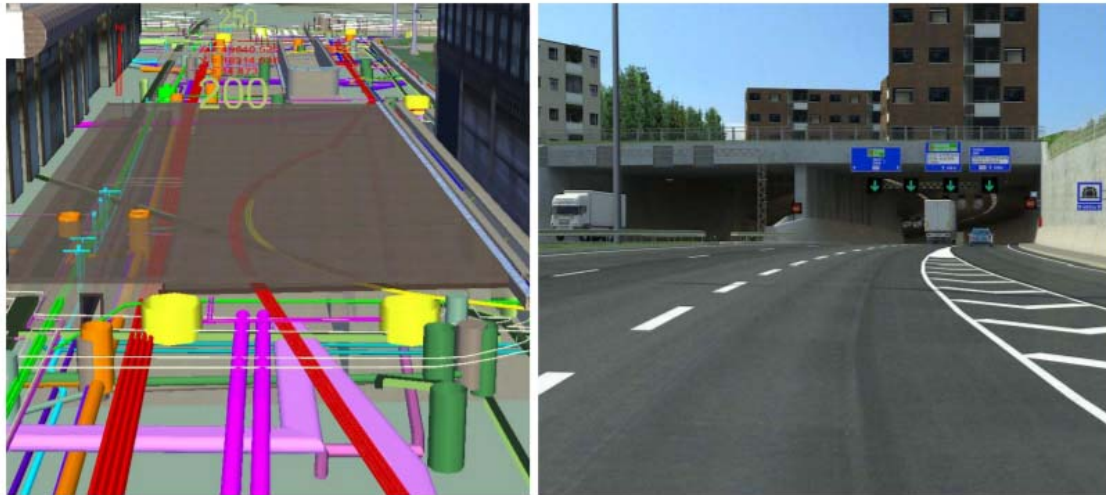
Inframallintamisen ohjeistusta ja ohjelmistoja kehitetään jatkuvasti, jotta inframallintamista voidaan hyödyntää tehokkaasti. Ohjelmistojen on vastattava tietomallintamisen tarpeita ja kaikille infraan liittyville tekniikka-aloille on määritettävä selkeät vaatimukset ja ohjeistukset. Myös tilaajan ohjeistusta mallipohjaisten hankkeiden tilaamisen on kehitettävä. Mallintaminen täytyy sisällyttää tarjouspyyntöön yksiselitteisesti, jotta eri osapuolilla on samanlainen ymmärrys mallinnuksen vaatimuksista. Tilaajan täytyy osata tilata ja vaatia oikeita asioita ja palveluntuottajan toimittaa laadukasta työtä.

3.3 Tietomallipohjainen hanke

Tietomallipohjaisen suunnittelun pohjana toimii lähtötietomalli. Lähtötietomalli koostuu suunnittelua varten hankituista lähtötiedoista, jotka on jäsennelty digitaaliseen muotoon (Serén 2014). Lähtötietomalli voi koostua esimerkiksi maastomallista, kaavamallista, maaperämallista sekä nykyisten rakenteiden mallista. Lähtötietomalliin kuuluu lisäksi viiteaineisto kuten viranomaisluvut. Lähtötietomallilla pyritään hallitsemaan suunnittelun lähtöaineistoa sekä dokumentoimaan lähtöaineistoon liittyvät tiedot ja aineistolle suoritettavat muokkaustoimenpiteet. Tavoitteena on jalostaa lähtöaineisto tietomallipohjaista suunnittelua tukevaan muotoon. (bSF 2017a, osa 3)

Suunnitelmamalli on suunnittelukohteesta luotu malli, joka sisältää suunnitelmaratkaisut. Suunnitelmamalli voidaan vaiheistaa eri suunnitelmavaiheiden mukaan esi-, yleis-, väylä- ja rakentamissuunnittelumalleihin. Jokaisesta tekniikka-alasta tehdään yleensä oma suunnitelmamallinsa. Eri tekniikka-alojen suunnitelmamallit ja lähtötietomalli kootaan yhteen, jolloin syntyy yhdistelmämalli. Yhdistelmämallin avulla voi-

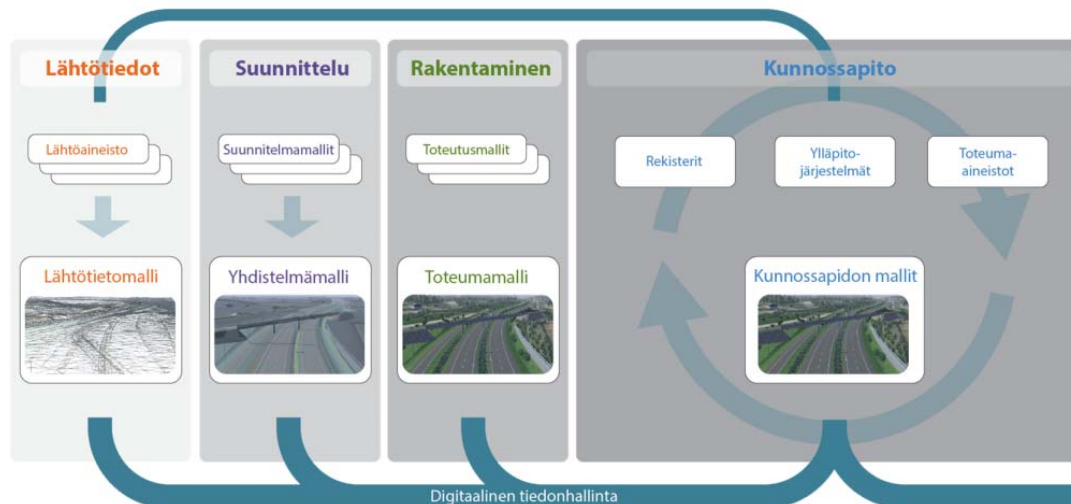
daan varmistaa eri tekniikka-alojen yhteensopivuus sekä hahmottaa kohde kokonaisuudessaan. Yhdistelmämallien hallintaan tarkoitettut ohjelmistot tarjoavat työkaluja yhdistelmämallien hyödyntämiseen. Ohjelmistoilla voidaan tehdä esimerkiksi automaattiset törmäystarkastelut, joissa ohjelmisto tarkastaa rakenteiden fyysisen yhteensopivuuden ja ilmoittaa päällekkäisyyksistä. Yhdistelmämallista voidaan luoda esittelymalli, jota käytetään kohteen havainnollistamiseen esimerkiksi sidosryhmille. Esittelymalliin voidaan lisätä esimerkiksi rakennepintojen tekstuureja, valoja ja varjoja sekä muita havainnollistavia yksityiskohtia, joita ei ole suunnitteluun käytetyissä malleissa. Kuva 8 havainnollistaa suunnittelu- ja esittelymallien eroja. (Serén 2014)



Kuva 8. *Tietomalleja voidaan käyttää joko tekniseen havainnollistamiseen, kuten vasemman puoleisessa kuvassa, tai esittävään havainnollistamiseen, kuten oikeanpuoleisessa kuvassa (bSF 2017a, osa 10)*

Suunnittelumallin pohjalta luodaan toteutusmalli, joka kattaa kohteen toteutuksen näkökulman, eli rakentamisen tehtävät kuten resurssit ja aikataulutuksen. Nykytilanteessa esimerkiksi resurssien ja aikataulutuksen sisällyttäminen inframalliin on vähäistä, joten käytännössä tällä hetkellä toteutusmallilla tarkoitetaan rakentamissuunnitteluvaiheessa tehtävää viimeisteltyä versiota suunnitelmamallista. Toteutusmallilla voidaan tarkoittaa myös työkoneiden koneohjausta tai mittauksia varten laadittua mallia. Rakentamisen jälkeen toteutusmalli päivitetään toteumamalliksi, joka kattaa kohteen lopullisen toteutuksen. Toteumamalli kokoaa kohteen rakentamisen mittaukset sekä työkoneautomaatiossa käytetyn tietosisällön. Toteumamallin tarkoituksena on todentaa tilaajalle kohteen laatu ja vaatimustenmukaisuus sekä toimia lähtötietona ylläpitoprosessiin. (bSF 2017a, osa 5.3)

Tällä hetkellä tietomallintaminen keskittyy pääasiassa rakentamissuunnitelmavaiheen mallintamiseen. Ideaalitilanteessa inframallintamista käytettäisiin koko elinkaaren ajan aina suunnittelun alkumetreiltä kunnossapitoon kuvan 9 mukaisesti. Mallipohjaisen prosessin suurimmat hyödyt saavutetaan, kun suunnittelu toteutetaan tietomallipohjaisena hankkeen jokaisessa vaiheessa ja tietomallia rikastetaan hankkeen edetessä.



Kuva 9. *Ideaalitalanteessa tietomallintamista hyödynnetään hankkeen jokaisessa vaiheessa rikastaen mallia tiedon lisääntyessä (Tourunen 2016)*

Esi- ja tarvesuunnitelmavaiheessa tietomallintamisen avulla pyritään pääasiassa tehostamaan tiedon siirtymistä seuraavaan vaiheeseen. Yleissuunnitteluvaiheessa voidaan luoda pelkistetty inframalli, jonka avulla voidaan tarkastella väylägeometriaa, tilantarvetta, sovittamista ympäristöön sekä massataloutta. Hankekohtaisesti sovitetaan, luodaanko eri vaihtoehtoista mallit ja mikä on niiden tarkkuus. Tie-, katu- ja rata-suunnitelmavaiheiden mallien avulla voidaan suunnitella geometriat, tilavaraukset ja sovittaminen ympäristöön sekä arvioida massat luotettavasti. Mallin ei kuitenkaan tarvitse olla viimeistelty. Rakentamissuunnitelmavaiheessa mallin tulisi olla siinä tarkkuudessa, että kohteen toteuttaminen on mahdollista. (bSF 2017a, osa 4)

Tietomalli on dokumentoitava tietomalliselostuksen ja sisältöluettelon avulla aina kun malli tulee muiden osapuolten käyttöön. Dokumentoinnin tarkoituksena on, että muut osapuolet hahmottavat mallin sisällön, rakenteen, nimeämiskäytännöt ja valmiusasteen. Tietomalliselostuksessa kuvataan mallin keskeiset lähtökohdat, tarkoitus, sisältö, kattavuus, mallinnustavat, tarkkuustaso sekä mahdolliset rajaukset ja poikkeamat yleisistä vaatimuksista. Sisältöluettelossa kerrotaan tiedostojen käyttötarkoitukset sekä mahdolliset rajoitteet ja poikkeamat verrattuna teoreettiseen geometriamalliin. (bSF 2017a, osa 1)

Ideaalitalanteessa tietomalliin on sisällytetty kohteen ominaisuustietoja, kuten materiaalitiedot sekä pinta-ala- ja tilavuustiedot. Tällöin kattaville suunnitelmadokumenteille ole samanlaista tarvetta kuin nykyään. Piirustusten sijaan voidaan käyttää käyttötärpeen mukaista näkymää mallista ja erilaiset luettelot, kuten esimerkiksi määräluettelot, saadaan tulostettua suoraan mallista. Tämän toteuttaminen luotettavasti kaikilla tekniikka-aloilla edellyttää kuitenkin tietomallintamisen standardien ja ohjelmistojen sekä toimintatapojen kehittämistä. Toistaiseksi suunnitelmapiirustukset vaaditaan. Perinteisiä piirustuksia tarvitaan edelleen esimerkiksi hallinnolliseen käsittelyyn. Perinteisten piirustusten ja mallien ei tarvitse sulkea toisiaan kokonaan pois, mutta mallin tarkoituksena olisi helpottaa piirustusten tuottamista. Tavoitteena olisi, että piirustukset voitaisiin tuottaa helposti suoraan mallista eikä muutoksia tarvitsisi päivittää erikseen malliin ja piirustuksiin. Mallin ja piirustusten sisällön tulee vastata toisiaan. (Liikennevirasto 2017b)

3.4 Yleiset inframallivaatimukset -ohjeistus

Yleiset inframallivaatimukset (YIV) -ohjeet toimivat inframallintamisen ohjeina sekä hankintojen yleisinä teknisinä viiteasiakirjoina. Mallinnusohjeissa on määritetty vähimmäisvaatimukset mallin sisällölle ja mallinnustavalle. Uusin versio on YIV 2015, jonka ohjeet on julkaistu vuosina 2015-2016 (bSF 2017a). Aikaisempi versio YIV-ohjeista on YIV 2014, jonka aineisto tuotettiin InfraFINBIM-hankkeessa. Ohjeita kehitetään jatkuvasti osaamisen ja ohjelmistojen kehittyessä.

YIV 2015 -ohjeistus koostuu taulukossa 1 esitetyistä dokumenteista. YIV-ohjeiden päivitystyö on parhaillaan käynnissä ja uusi versio tullaan todennäköisesti julkaisemaan vuoden 2018 aikana.

Taulukko 1. Yleiset inframallivaatimukset 2015 -ohjeistuksen sisältö (bSF 2017a)

Osa	Nimi	Sisällön kuvaus
1.	Tietomallipohjainen hanke	Yleinen kuvaus tietomallipohjaisen infrahankkeen toimintatavoista
2.	Yleiset mallinnusvaatimukset	Yleisen tason kuvaus tietomallinnuksen perusasioista ja -käsitteistä sekä yleisen tason vaatimukset eri hankevaiheissa
3.	Lähtötiedot	Lähtötietomallin sisällölle ja muodostusprosessille asetetut vaatimukset
4.	Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa	Mallinnusvaatimukset rakentamissuunnitteluvaihetta edeltäviin suunnitteluvaiheisiin
5.	Rakennemallit	
5.1	Maa-, pohja- ja kalliorakenteet, päällys- ja pintarakenteet	Rakentamissuunnitteluvaiheen mallinnusvaatimukset maa-, pohja- ja kalliorakenteille sekä päällys- ja pintarakenteille (geometria, ominaisuudet)
5.2	Maarakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmalli) laadintaohje	Maarakentamisessa käytettävien toteutusmallien (koneohjausmallien) sisältö ja tarkkuusvaatimukset rakentamissuunnitteluvaiheessa
5.3	Maarakennustöiden toteumamallin laadintaohje	Maarakentamisessa käytettävien toteumamallien sisältö ja tarkkuusvaatimukset
6.	Rakennemallit	
6.1	Järjestelmät	Rakentamissuunnitteluvaiheen mallinnusvaatimukset infraan liittyville järjestelmille (geometria, perustiedot, ominaisuudet)
7.	Rakennemallit	
7.1	Rakennustekniset rakennusosat	Infrahankkeisiin liittyvien rakennusteknisten rakennusosien mallinnusvaatimukset eri suunnitelmavaiheissa
8.	Inframallin laadunvarmistus	Ohjeistus inframallien laadunvarmistuksen parhaisiin käytäntöihin
9.	Määrälaskenta, kustannusarviot	Määrälaskennan vaatimukset infra-alan tietomalleille
10.	Havainnollistaminen	Tekninen ja esittävä havainnollistaminen hankkeen eri vaiheissa
11.	Infran hallinta	
11.1	Inframallinnus päällysteiden korjaamisessa	Mallintamisen hyödyntäminen infran hallinnassa
12.	Inframallin hyödyntäminen suunnittelun eri vaiheissa ja rakentamisessa	
12.1	Maarakentamisen mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä	Työkoneautomaatiota hyödyntävän tie- ja ratarakennushankkeen mallipohjaisen laadunvarmistusmenettelyn edellytykset, päävaiheet sekä dokumentoitava aineisto

3.5 Tiedonsiirtoformaatit

3.5.1 Johdanto tiedonsiirtoformaatteihin

Tiedonsiirtoformaatti on koneluettava muoto tiedon tallentamiseen, siirtoon ja arkistointiin (Serén 2013). Tietomallintamiseen käytettävän ohjelman täytyy pystyä hyödyntämään ja tuottamaan tietoa avoimessa tietomallipohjaisessa formaatissa. Yhteinen formaatti parantaa tiedon käytettävyyttä ja säilyvyyttä, mikä tehostaa työskentelyä. YIV-ohjeessa on määritetty vaatimukset Suomessa tietomallinnuksessa käytettäville formaateille. Infrarakenteiden osalta tällä hetkellä Suomessa käytössä oleva avoin formaatti on Inframodel ja taitorakenteiden osalta IFC, mutta myös joidenkin muiden yleisesti käytössä olevien formaattia, kuten dwg-formaatin, käyttö on tois- taiseksi tarpeen vaatiessa sallittua. (bSF 2017a, osa 2)

Tiedonsiirrossa on käytettävä avointa formaattia, mutta tieto tulisi tallentaa ainakin toistaiseksi arkistoon myös natiiviformaatissa eli tiedon tuottamiseen käytetyn ohjelmiston omassa sisäisessä formaatissa. Avoimet formaatit eivät ole vielä täysin kehittyneitä, joten natiiviformaatti sisältää usein enemmän mallin muodostukseen liittyvää tietoa kuin avoimet formaatit. Natiiviformaatin hyödyntämiseen tarvitaan yleensä sama ohjelmisto, millä se on tuotettu. Avointa formaattia pystytään hyödyntämään ohjelmistosta tai ohjelmiston versiosta huolimatta, mutta tietosisältö on usein suppeampi. Tietoa siirrettäessä mallin yhteydessä on siirrettävä kaikki käytetyt materiaalit ja profiilikirjastot sekä tietomalliselostus. (bSF 2017a, osa 2)

Avoimissa formaateissa on vielä puutteita eivätkä ne kata kaikkia infrahankkeiden tarpeita. Avoimia formaatteja kehitetään jatkuvasti. Formaattien ja ohjelmistojen kehittäminen vie kuitenkin aikaa. Ennen formaattien kehittymistä tiedonsiirtoon voidaan käyttää muita alalla yleisesti käytettyjä formaatteja, kuten esimerkiksi dwg- tai gt-formaatteja (Liikennevirasto 2017b). Näitä formaatteja käyttäessä on huomioitava, että ominaisuustietojen tiedonsiirto on rajoittunutta eivätkä tiedot välttämättä kuvau- du oikein kaikissa ohjelmistoissa.

Julkisen hankkeen tilaajan ei tule määrittää mallintamiseen käytettävää ohjelmistoa, sillä se saattaisi asettaa toimijat epätasa-arvoiseen kilpailuasetelmaan (Mäkeläinen et al. 2017). Käytettyjen ohjelmistojen tulee kuitenkin tukea vaadittuja tiedonsiirtoformaatteja. Koska tiedonsiirtoformaattien ja ohjelmistojen käyttö ei ole vielä yksiselitteistä, voi olla perusteltua sopia hankkeen yhteydessä erikseen käytettävät ohjelmistot ja varmistaa niiden toimivuus.

3.5.2 Inframodel

Inframodel on avoin formaatti infra-alan tiedonsiirtoon. Kansallinen Inframodel-formaatti perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin. Inframodel-formaattiin on tehty laajennuksia LandXML:n sallimissa rajoissa. Laajennukset mahdollistavat sellaisen tiedon siirtämisen, jota LandXML-formaatilla ei voida siirtää. Inframodel toimii infra-alalla maastomittaustietojen, suunnitteluohjelmistojen sekä työmaan toteuma- ja tarketietojen tiedonsiirrossa. Lisäksi Inframodelia käytetään suunnitelmamallien arkistoinnissa ja työmaan koneohjaussovelluksissa. (PRE InfraBIM Inframodel-ryhmä 2013)

Inframodel-formaatti on XML-kieleen perustuvien formaattien tapaan luonteeltaan dokumentoitu. Tiedonsiirrossa välitetään varsinaisten siirrettävien tietojen lisäksi metatietoja, esimerkiksi tietoa käytetyistä yksiköistä, koordinaatistosta, projektista ja sovelluksesta. Inframodel-formaatissa tietoa siirretään tekstimuotoisella tiedostolla, jonka voi avata ja jota voi muokata esimerkiksi selaimella tai tekstieditorilla. (PRE InfraBIM Inframodel-ryhmä 2013)

Suomessa on ollut käytössä vuodesta 2014 asti Inframodel 3 -formaatti (bSF 2017b). Vuonna 2016 julkaistiin uusi versio, Inframodel 4, jonka laajempaan käyttöön ollaan siirtymässä vuoden 2018 aikana. Taulukossa 2 on esitetty, mitä tietokokonaisuuksia Inframodel 4 sisältää. Inframodel 4 -versioon lisättiin uusina kokonaisuuksina toteumatiedon käsittely sekä pilari- ja massastabilointi. Lisäksi uuteen versioon laajennettiin Inframodel 3 -formaatin olevia elementtejä ja ominaisuustietoja. Inframodel-formaattia kehitetään jatkuvasti ja sen tietosisältöä tullaan laajentamaan.

Taulukko 2. Inframodel 4-formaatin sisältö (PRE InfraBIM Inframodel-ryhmä 2013; bSF 2017b)

Kokonaisuus	Sisältö
Suunnitelman yleistiedot	<ul style="list-style-type: none"> • projekti • suunnitelma • ohjelmisto • yksiköt • koordinaattijärjestelmät • muu metadata
Perusaineisto	<ul style="list-style-type: none"> • maastomallin ja maaperämallin pinnat • pisteet ja viivat sekä näiden lajikoodaus • kolmiopinnat
Liikenneväylät (tie, rata, katu, vesiväylä)	<ul style="list-style-type: none"> • geometrialinjat • rakenne taiteviivoina pinnoittain ryhmiteltyinä sekä kolmiopintoina • mitoitusparametritietoa informaationa
Vesihuoltoverkostot	<ul style="list-style-type: none"> • kaivot (laitteet) • putket • ominaisuudet • rummut
Aluesuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> • pintamaiset rakenteet • maisemoinnit, läjitykset
Pohjanvahvistus	<ul style="list-style-type: none"> • pintamaiset rakenteet • vastapenger, ylipenger, massanvaihto • pilari- ja massastabilointi
Rata	<ul style="list-style-type: none"> • kilometripaalaus • kallistus • vaihteet
Varusteet	<ul style="list-style-type: none"> • kaiteet, aidat, jalustat (valaisinpylväät, liikennemerkkit)
InfraBIM-nimikkeistö / Rakennusosanimikkeistö	<ul style="list-style-type: none"> • kaikki pinnat, viivat ja muut kohteet
Toteumatieto	<ul style="list-style-type: none"> • tunnus • pinnan/pisteen koodi • suunniteltu x,y,z projektin koordinaatistossa • toteutettu x,y,z projektin koordinaatistossa • koordinaatisto • mahdollisuus viitata väylägeometriaan • toleranssit • muu metadata

3.5.3 IFC

IFC eli Industry Foundation Classes on bSI:n kehittämä ja ylläpitämä ISO-standardiin perustuva oliopohjainen tiedonsiirtoformaatti. IFC-formaatti on avoin tiedonsiirtoformaatti, joka mahdollistaa tiedon siirtämisen eri ohjelmistojen välillä. Uusin julkaistu versio on IFC 4 Add2, mutta vanhempi versio IFC 2x3 on edelleen pääasiassa käytössä tietomallintamisessa käytettävissä ohjelmistoissa (bSI 2017b). IFC:ssä on määritetty tietyt objektityypit, joihin liittyy objektien geometria (*geometry*), suhteet (*relations*) sekä ominaisuudet (*properties*) (Eastman et al. 2008). IFC:n määrittelyt ja IFC-formaattia tukevat ohjelmistot eivät ole vielä täydellisiä. Tietoa saattaa edelleen hukkuu eri ohjelmistojen välisessä tiedonsiirrossa. Formaattia ja ohjelmistoja kuitenkin kehitetään jatkuvasti.

Suomessa IFC-tiedonsiirtoformaattia käytetään yleisesti tietomallien tiedonsiirtoon talonrakennus- ja kiinteistöalalla. IFC-formaatti ei sisällä varsinaisesti määrittelyjä siltojen ja muiden infraympäristön taitorakenteiden tiedonsiirtoon, mutta siltojen ja taitorakenteiden mallintamiseen voidaan käyttää samoja ohjelmia kuin rakennusten suunnitteluun, jolloin siltojen tiedonsiirto on mahdollista IFC-formaatissa (Vinter 2017). Muutoin inframallintamisen tiedonsiirrossa ei käytetä IFC-formaattia, sillä ohjelmistot eivät mahdollista infrarakenteiden mallintamista.

IFC-formaattia on alettu kehittämään myös infra-alan tietomallintamiseen (Perttula 2017). Uusimpaan versioon IFC-formaatista on lisätty jo infrakohteiden geometrian vaatimuksia vuonna 2017 valmistuneen *IFC Alignment* -projektin mukaisesti. Tulevina vuosina IFC-formaattia tullaan todennäköisesti täydentämään laajemminkin inframallintamisen tarpeita vastaavaksi. Eri asiantuntijoiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella vaikuttaa siltä, että IFC-formaatti tekee todennäköisesti tuloaan infra-alalle myös Suomessa. Formaatin laajentamiseen ja ohjelmistokehitykseen tulee kuitenkin menemään useita vuosia.

3.5.4 DWG

Dwg-formaatti on Autodeskin kehittämä AutoCAD-sovellusten käyttämä formaatti (Autodesk 2018). Dwg on yksi käytetyimmistä formaateista rakennusalaalla suunnittelutiedon tallentamiseen. Formaattia käytetään CAD-sovellusten väliseen tiedonsiirtoon, jolloin siirtyy kaikki dwg-tiedostoon tallennettu tieto. Tiedonsiirtoon käytetään myös dxf-formaattia, joka on yksinkertaisempi versio dwg-formaatista.

Dwg-formaattia käytetään tiedon tallentamiseen ja siirtoon myös inframallintamisessa. Dwg-formaatti ei ole avoin formaatti, joten kaikki mallintamisessa käytettävät ohjelmistot eivät välttämättä tue formaattia. Kaiken tiedon siirtymistä ja kohteen kuvautumista eri ohjelmistojen välillä ei voi taata. YIV-ohjeistus sallii kuitenkin dwg-formaatin käyttämisen kunnes avoimet tiedonsiirtoformaatit kattavat kaikki infrarakenteet (bSF 2017a, osa 2). Dwg-formaattia tukevat monet inframallintamiseen käytetyt ohjelmistot, kuten esimerkiksi Novapoint ja Tekla Civil, yhdistelmämallien tarkasteluun käytettävät ohjelmistot, kuten Navisworks ja VDC Explorer, sekä taitorakenteiden tietomallintamiseen käytetyt ohjelmistot, kuten Tekla Structures ja Autodesk Revit.

3.6 Nimikkeistö

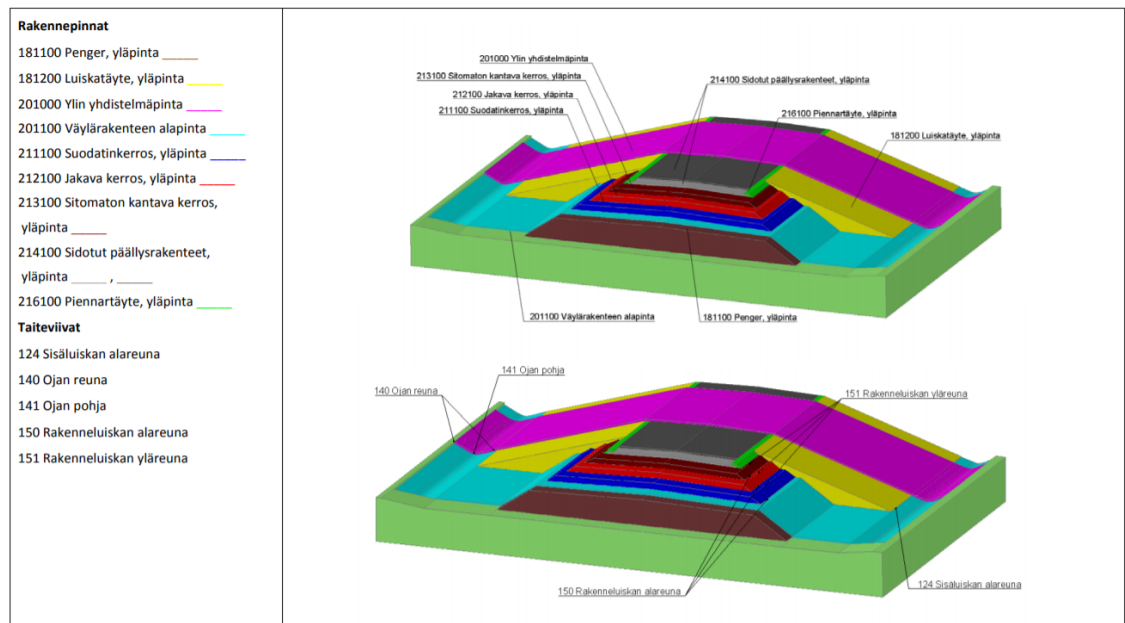
Inframallintamisen vähimmäisvaatimuksena on kansallisen InfraBIM-nimikkeistön käyttö. InfraBIM-nimikkeistössä on määritetty tie-, katu-, rata- ja vesiväylien sekä vesihuolto- ja kuivatusrakenteiden pintojen ja taiteviivojen numerointi- ja nimeämiskäytännöt. InfraBIM-nimikkeistön pohjana toimivat Infra 2015 -rakennusosanimikkeistö sekä Liikenneviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohje. Yhtenäisellä numerointi- ja nimeämiskäytännöllä pyritään tiedon koneluettavuuteen sekä selkeyttämään mallintamista ja välttämään väärinkäsityksiä. (bSF 2017c)

Rakennusosat on jaoteltu Infra 2015 -rakennusosanimikkeistössä viiteen ylätasoon ryhmään:

- 1000 Maa-, pohja- ja kalliorakenteet
- 2000 Päällys- ja pintarakenteet
- 3000 Järjestelmät
- 4000 Rakennustekniset rakennusosat
- 5000 Hanketehtävät

Ylätasoon ryhmät on jaoteltu tarkemmin alatasoon ryhmiin, jotka on edelleen jaoteltu vielä tarkemmin määriteltyihin ryhmiin. Ryhmien sisällä rakennusosat on esitetty nelinumeroisilla tunnuksilla. Tunnuksia on eritelty vielä tarkemmin lähinnä rakennusosien tarkentavia ominaisuustietojen, kuten materiaalien, perusteella.

InfraBIM-nimikkeistön rakenne vastaa Infra 2015 -nimikkeistön rakennetta, mutta osien tunnuksot on laajennettu kuusinumeroisiksi koodeiksi lisäämällä nollia rakennusosanimikkeistön mukaisten koodien perään. InfraBIM-nimikkeistöön ei ole sisällytetty rakennusosanimikkeistön tarkempia erittelytasoja, sillä tietomallissa rakennusosien tarkempi määrittely tulee esittää rakennusosaan sisällytettävänä attribuuttitietoina. InfraBIM-nimikkeistöä on laajennettu vastaamaan tietomallintamisen tarpeita lisäämällä tunnuksot esimerkiksi ylimmälle ja alimmalle yhdistelmäpinnalle. InfraBIM-nimikkeistössä esitetyt pintojen taiteviivat on koodattu Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohjeen mukaisesti. Kuvassa 10 on esimerkki InfraBIM-nimikkeistön nimeämis- ja numerointikäytännöistä sekä pintoja ja taiteviivoja havainnollistavat kuvat. (bSF 2017c)



Kuva 10. *InfraBIM-nimikkeistön käyttöä havainnollistava väylän rakennepintojen ja taiteviivojen nimeämishoje (bSF 2017c)*

Saarnikko (2016) tutki diplomityössään erilaisten infra-alan nimikkeistöjen soveltuvuutta digitaalisen tiedonhallintaan. Saarnikon mukaan tämänhetkiset nimikkeistöt, InfraBIM-nimikkeistö mukaan lukien, eivät tue digitaalista tiedonhallintaa parhaalla mahdollisella tavalla nimikkeistöjen rakenteen takia. Lisäksi useiden rinnakkaisten nimikkeistöjen, kuten Infra 2015-, InfraRYL- ja InfraBIM-nimikkeistöjen, käyttö ei ole kaikista selkein toimintatapa. InfraBIM-nimikkeistö on kehitetty tietomallintamisen tueksi, mutta koska sen pohjana on käytetty Infra 2015 -rakennusosanimikkeistöä, sen tarkkuus ei palvele digitaalista tiedonhallintaa. Infra 2015 -rakennusosanimikkeistön rakennusosat sisältävät käsitteellisesti useita asioita, minkä takia nimikkeistön tarkkuustaso ei ole riittävä tietomallintamiseen. Nimikkeistöjä tulisikin muokata selkeämmiksi ja yhtenäisemmiksi. Uuden nimikkeistön sisältö voisi vastata pitkälti nykyisiä nimikkeistöjä, mutta nimikkeistön rakenne tulisi muodostaa valmiiden kansainvälisten standardien pohjalta.

4 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen toteutus

4.1 Haastattelut

Osana tutkimusta järjestettiin asiantuntijoiden haastatteluja, joiden perusteella turvalaite- ja sähköratatekniikan tietomallintamisen nykytilanne sekä tulevaisuuden kehitysnäkymät hahmotettiin paremmin. Haastattelujen perusteella luotiin myös pohjaa työpajojen suunnitteluun. Haastattelut järjestettiin pääasiassa diplomityöprojektin alussa ennen työpajatyöskentelyä.

Haastattelut olivat pääasiassa vapaamuotoisia keskusteluja. Haastatteluissa keskusteltiin turvalaite- ja sähköratamallintamisen nykytilanteesta sekä hankkeista, joissa näitä tekniikka-aloja on jossain määrin mallinnettu. Lisäksi haastatteluissa keskusteltiin inframallintamisen kehitysnäkymistä Suomessa ja kansainvälisesti sekä tiedonsiirtoformaateista ja inframallintamisen nimikkeistöstä. Haastateltavat asiantuntijat edustivat tilaajaa, palveluntuottajaa, ohjelmistokehittäjää sekä bSF-organisaatiota ja tietomallintamisen kehittäjiä.

Tilaaja ja rakennuttaja:

- Joni Mäkelä, Ramboll CM
- Tarmo Savolainen, Liikennevirasto
- Teppo Rauhala, WSP Finland

Palveluntuottaja:

- Niko Tunninen & Marion Schenkwein, VR Track
- Valtteri Brotherus, WSP Finland
- Heikki Vanne, Pöyry

Ohjelmistokehittäjä:

- Tuomas Hörkkö & Petri Louhi, Civilpoint
- Vesa Kovalainen, Trimble
- Erkki Mäkinen, Trimble

bSF ja tietomallintamisen kehittäminen:

- Tiina Perttula, Ramboll
- Juha Hyvärinen, VTT
- Juha Liukas, Sito

4.2 Työpajat

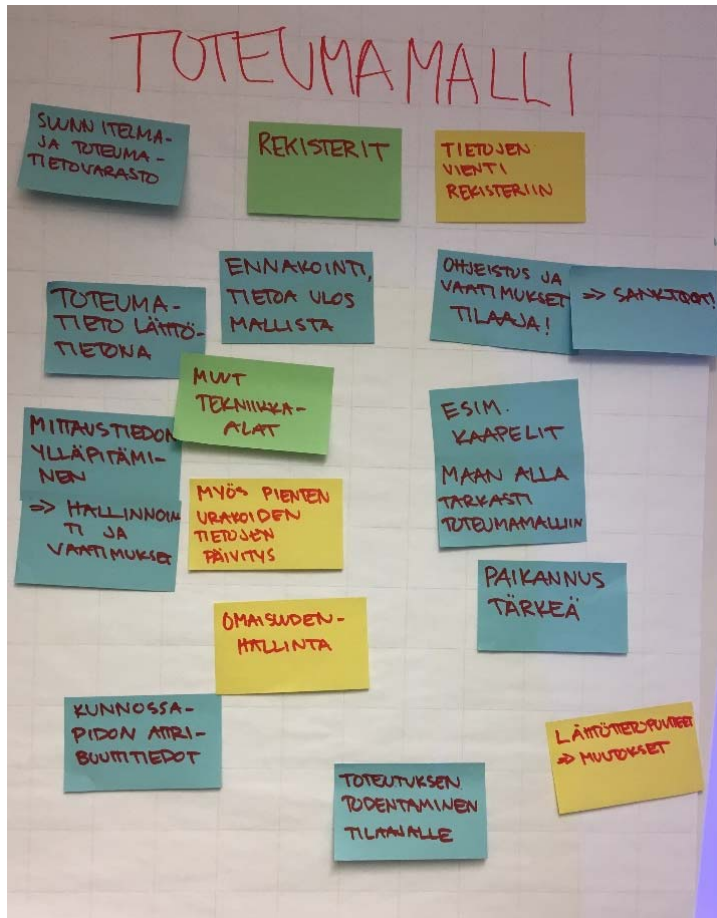
4.2.1 Työpajojen organisointi

Tutkimus toteutettiin asiantuntijaryhmän työpajatyöskentelynä. Työpajoissa selvitetiin, kuinka kehitystyötä kannattaa viedä eteenpäin sekä kartoitettiin eri toimijoiden näkökulmasta edellytykset mallinnusvaatimusten ja -ohjeiden kehittämiseksi. Työpajoihin pyrittiin saamaan eri toimijoiden edustajia, jotka ovat mukana turvalaitteiden ja sähköradan suunnittelussa ja toteutuksessa, jotta saataisiin näkökulmia todellisista suunnittelu- ja rakentamistilanteista, jolloin kehitystyössä osataan keskittyä oikeisiin asioihin.

Asiantuntijaryhmän työpajatyöskentelyyn päädyttiin, koska alalla on jo pitkään tunnistettu tarve luoda yhteiset suuntaviivat ja ohjeistus myös näiden tekniikka-alojen mallintamiseen, mutta eri toimijoita ei ole saatu saman pöydän ääreen keskustelemaan ja tekemään päätöksiä aiheesta. Aihealue on laaja ja aiheeseen liittyvää kirjallisuutta löytyy hyvin vähän, joten kehitystyö nähtiin kannattavimpana viedä eteenpäin yhteisesti eri toimijoiden kesken. Työpajatyöskentelyssä osallistujat saavat helposti äänensä kuuluville. Työpajoissa saadaan nopeasti erilaisia mielipiteitä ja niistä pystytään keskustelemaan heti sekä tekemään päätöksiä yhteistuumin. Työpajoja järjestettiin yhteensä viisi kappaletta noin kuukauden välein aikavälillä elokuu 2017 – joulukuu 2017. Työpajojen tulokset on esitelty luvuissa 4.2.2–4.2.6. Työpajojen muistiot on esitetty liitteessä 1.

Taustatutkimuksen ja asiantuntijahaastatteluiden pohjalta luotiin karkea suunnitelma työpajojen toteuttamiseen. Aiheen laajuuden ja aikaisempien tutkimusten puutteen vuoksi työpajoissa käsiteltävät aiheet tarkentuivat vasta työn edetessä. Ensimmäisissä työpajoissa kartoitettiin osallistujien näkökulmia aiheeseen ja esiin nousseita ongelmakohtia, joita seuraavissa työpajoissa tulisi käsitellä. Jokaisen työpajan lopuksi pohdittiin yhteisesti osallistujien kanssa seuraavan työpajan sisältöä työpajassa esille nousseiden asioiden pohjalta. Osallistujille annettiin myös mahdollisuus vaikuttaa työpajojen työskentelytapoihin.

Noin viikko ennen jokaista työpajaa projektissa mukana oleville henkilöille toimitettiin seuraavaan työpajaan liittyvä ennakkomateriaali, johon heidän toivottiin tutustuvan etukäteen, jotta työpajassa työskentely olisi tehokkaampaa. Työpajoissa jakauduttiin päivän aiheeseen pohjustamisen jälkeen kahteen ryhmään. Kumpikin ryhmä työskenteli eri aihetta käsittelevän ryhmätyön parissa. Ryhmätyöpisteillä keskustelua johti puheenjohtaja ja esiin nousseita ajatuksia kerättiin post-it-lapuille. Ryhmät vaihtoivat työpajan aikana työpistettään puheenjohtajaa lukuun ottamatta. Lopuksi ryhmätöiden tulokset purettiin ja keskusteltiin tarvittaessa tuloksista tarkemmin. Jokaisen työpajan jälkeen ryhmätöissä syntyneet post-it-laput ja muut muistiinpanot kuvattiin ja työpajasta laadittiin muistio. Kuvassa 11 on esimerkki ryhmätyön tuloksista post-it-lapuilla.



Kuva 11. Esimerkkikuva työpajojen ryhmätyöskentelyn tuloksista post-it-lapuilla

Työpajojen materiaalit, kuten muistiot, kuvat ryhmätöiden lopputuloksista, olemassa oleva mallinnusaineisto sekä aihetta tukeva kirjallisuus tallennettiin kaikkien saataville Dropbox-pilvipalveluun.

4.2.2 Työpaja 1: Taustat ja pohjustus

Ensimmäisessä työpajassa esiteltiin hankkeen ja työn taustat, käytiin läpi työpajojen käytäntöjä ja aikatauluja sekä pohjustettiin aihetta keskustelemalla turvalaite- ja sähköratatekniikasta sekä tietomallintamisesta yleisellä tasolla. Työpajassa oli kolme ryhmätyöpistettä, joiden aiheet olivat turvalaite- ja sähköratatekniikan tietomallintamisen kipupisteet, tulevaisuuden näkymät sekä vähimmäisvaatimukset tilaajan näkökulmasta. Tavoitteena oli kartoittaa eri toimijoiden näkemyksiä liittyen aiheeseen, jotta tulevien työpajojen sisältö pystyttiin suunnittelemaan tarkemmin. Alla on esitetty yhteenveto työpajan tuloksista aihepiireittäin.

Kipupisteet

Turvalaite- ja sähköratatekniikan suunnittelua ei pystytä vielä toteuttamaan sujuvasti mallipohjaisena mallinnusvaatimusten ja -ohjeiden sekä teknologian puutteen takia. Näiden tekniikka-alojen mallintamisen nykyiset toimintatavat eivät tue mallipohjasta suunnittelua, minkä takia mallintaminen koetaan työläänä ja aikaa vievänä. Turvalaitteet ja sähköratarakenteet puuttuvat yhdistelmämallista. Turvalaite- ja sähköratatekniikka-alojen suunnittelun lähtötiedot ovat usein puutteellisia, minkä takia ei pystytä laatimaan kunnollista lähtötietomallia.

Tulevaisuuden näkymät

Mallipohjaisella suunnittelulla pystytään tehostamaan toimintaa. Ideaalitilanteessa tietomallinnus helpottaa toimintaa, kun turhat välivaiheet poistuvat ja tiedonhallinta paranee läpi koko elinkaaren. Suunnittelua voitaisi helpottaa toteuttamalla osa suunnittelusta koneellisesti. Kaikki tarvittava tieto on mallissa ja malli korvaa osan perinteisistä dokumenteista.

Kehitystyötä on vietävä eteenpäin selkeillä askelilla. Perusasioiden on oltava kunnossa ja hyötyjen ja kustannusten suhdetta on mietittävä. Tavoitteena on luoda yhteiset ja järkevät määrittelyt näiden tekniikka-alojen tietomallintamiseen. Määrittelyjen tulisi olla myös kansainvälisesti yhtenäiset, jolloin toimintaa voidaan laajentaa ulkomaille. Määrittelyt tulisi olla sellaiset, että kaikilla toimijoilla on mahdollisuus tietomallintamiseen ja myös uudet toimijat voivat tulla alalle. Tietomallin sisältö on määritettävä koko elinkaarta palvelevaksi. Tietomallinnusta tulisi hyödyntää myös rekistereissä ja tiedon arkistoinnissa.

Tilaajan vähimmäisvaatimukset

Tilaajan vaatimukset tulee päivittää mallipohjaista toimintaa tukevaksi. Kehitystyössä tulisi määrittää, mitä turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osia malliin sisällytetään. Tiedonsiirtoformaatin on oltava avoin, sillä tiedon hyödynnettävyys on tärkeässä roolissa. Tietoa pitää voida hyödyntää ohjelmistosta ja toimijasta riippumatta sekä eri suunnitteluvaiheiden välillä. Tiedon arkistointia ja arkistojen avoimuutta tulisi pohtia.

4.2.3 Työpaja 2: Mallintamisen sisältö ja tarkkuus

Toisessa työpajassa käsiteltiin turvalaite- ja sähköratamallintamisen laajuutta ja tarkkuutta. Mallintamisen laajuutta käsittelevässä ryhmätyössä pohdittiin, mitä osia turvalaite- ja sähköratajärjestelmiin kuuluu ja mitkä niistä ovat ensisijaisen tärkeitä saada sisällytettyä malliin. Mallintamisen tarkkuutta käsittelevässä ryhmätyössä pohdittiin, kuinka tarkasti objektit pitäisi mallintaa ja tarvitaanko osista erilaisia variaatioita vai riittääkö tietynlainen perusmalli. Työpajassa heräsi keskustelua myös käytettävistä tiedonsiirtoformaateista. Alla on esitetty yhteenveto työpajan tuloksista.

Mallintamisen laajuus

Työpajassa pohdittiin turvalaite- ja sähköratamalleihin sisällytettäviä osia sekä osien välisiä yhteyksiä. Todettiin kuitenkin, ettei ole mahdollista luoda heti täydellistä mallia, joka sisältäisi kaikki osat ja osien väliset yhteydet. Näin ollen osat luokiteltiin tärkeysjärjestykseen (1-3) sen perusteella, kuinka oleellista tämän hetkisten mallinnustavoitteiden kannalta on saada osa sisällytettyä malliin. Listaus on esitetty alla. Osiin sisällytettävä metatieto on tärkeässä roolissa, joten seuraavassa työpajassa päätettiin paneutua tarkemmin ensisijaisesti malliin sisällytettävien osien metatietoon.

1. Ensisijaisen tärkeät:

- Kaapelireitit: kaapelikanava, alitukset, kaapeli- ja kytkentäkaivot
- Opastimet: pää-, esi- ja raideopastimet, portaalit, perustukset
- Turvalaitekaapit ja relekojut
- Sähköratapylväät, portaalit, perustukset, kääntöorret, harukset
- Ratajohto: ajojohdin, kannatinlanka, paluujohdin, y-köysi, siksak
- Muuntajat: imumuuntaja, erotusmuuntaja, lämmitysmuuntaja

2. Toissijaisen tärkeät:

- Vapaanaolon valvonta: akselinlaskenta, raide-eristys
- Junan kulunvalvonta (JKV): baliisit
- Merkit
- Vaihteenlämmitys
- Erottimet

3. Vähemmän tärkeät:

- Valaistus

Mallintamisen tarkkuus

Työpajassa määritettiin mallintamisen tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä yleisellä tasolla. Seuraavat tekijät vaikuttavat tarkkuustasoon:

- Yhteensovitus ja törmäystarkastelut
- Tunnistettavuus
- Visualisointi esimerkiksi yleisötilaisuuksia varten
- Elinkaaren vaihe
- Määrälaskenta
- Tiedostokoot

Mallintamisen tarkkuus on määritettävä elementtikohtaisesti, sillä jotkut osat täytyy mallintaa mittapiirrostarvuuksella, kun taas joistain osista riittää esimerkiksi pelkään tilavaraus tai tieto sijainnista. Tilavaroituksia mallintaessa on huomioitava, että tilavaruuden tulisi kattaa elementin koko liikeskala sekä esimerkiksi jännitteellisten osien varoetäisyydet. Objekti kirjastoon tulisi luoda objektit yleisimmistä perusmalleista ja erilaisia variaatioita mallinetaan tapauskohtaisesti. Objektien kiinnityspisteet on määritettävä ja niiden täytyy vastata työmaalla mitattuja mittauspisteitä.

Tiedonsiirtoformaattit

Työpajassa pohdittiin, tulisiko käytettävän tiedonsiirtoformaatin olla dwg, IFC vai joku muu. Esille nostettiin tämän kehitystyön suhde kansainväliseen kehitystyöhön, jossa IFC-formaattia laajennetaan infra-alalle. Dwg-formaattia käytettäessä tulisi määrittää objektien tyyppi (pintaobjekti/tilavuusobjekti). Lisäksi pohdittiin mallien ja perinteisten piirustusten yhteensovitusta. Vaikka perinteisistä piirustuksista ei päästäisi vielä kokonaan eroon, olisi tärkeää helpottaa mallien ja piirustusten tuottamista siten, että tehdään mahdollisimman vähän päällekkäistä työtä.

4.2.4 Työpaja 3: Mallinnustapa ja -tarkkuus sekä sisällytettävä tieto

Kolmannessa työpajassa täydennettiin ensisijaisesti malliin sisällytettävien osien listaa ja määritettiin näille osille mallinnustapa ja -tarkkuus sekä osiin sisällytettävää metatietoa. Mallinnustapaa ja -tarkkuutta käsittelevässä ryhmätyössä pohdittiin, mistä osista voi tehdä valmiit objektit objekti kirjastoon ja mitkä osat taas mallinetaan tapauskohtaisesti. Lisäksi pohdittiin, mitkä osat tulisi mallintaa tarkasti ja mihin riittää karkeampi tilavaraus. Metatietoja käsittelevässä ryhmätyössä määritettiin jokaiselle osalle määritettävät perustiedot sekä lisäksi jokaiselle osalle määritettäviä tarkempia tietoja. Alla on esitetty yhteenveto työpajan tuloksista.

Mallinnustapa- ja tarkkuus

Yhteensovituksen, törmäystarkasteluiden ja visualisoinnin kannalta oleelliset turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osat tulee mallintaa mitoitukseltaan tarkkojen 3D-objektien avulla. Osat, joiden visuaalisella tarkkuudella ei ole niin väliä, mutta vaadittu tilavaraus on oleellinen tieto, mallinnetaan pelkistetyillä tilavarauksilla. Osat, joiden osalta visuaalisuus ja vaadittu tilantarve eivät ole oleellisia, mallinnetaan yksinkertaisten symboleiden avulla. Kaikki käsitellyt objektit voidaan mallintaa tietyillä perusmallilla. Saman tyyppin elementistä ei ole tarvetta luoda eri variaatioita tai esimerkiksi valmistajakohtaisia tuotteita. Alla on esitetty työpajassa määritetyt mallinnustavat järjestelmien osille.

Mallinnetaan valmiiden 3D-objektien avulla (tarkka mallinnus):

- Opastimet (erilaiset pääopastimet, esiopastin ja niiden yhdistelmät sekä raideopastin)
- Opastinportaalien osat ja opastinulokkeet
- Sähköratapylväät (eri tyyppiset I-, P- ja R-pylväät)
- Sähkörataportaalien osat
- Raiteensulku
- Paikallislupapainikekotelo

Mallinnetaan tilavarauksena:

- Kaapelikanava
- Alitusputki
- Kaapeli- ja kytkentäkaivot
- Kaapit ja kojut
- Asetinlaitetila
- Vaihteenkääntölaite
- Läpivientipölkky
- Syöttöasema
- Muuntajat (imu-, erotus- ja lämmitysmuuntajat)
- Perustukset

Mallinnetaan taiteviivana:

- Maakaapelit
- Harus

Mallinnetaan taiteviivana, jolla on tilavaraus:

- Ajojohdin
- Paluujohdin
- Kannatinlanka
- Y-köysi
- M-johto

Mallinnetaan 2D-symboleilla:

- Baliisi
- Kalustonvalvonnan ratalaitteet
- Akselinlaskenta-anturit
- Maadoitukset

Metatiedot

Kaikille osille yhteiset perustiedot määritettiin seuraavalla tavalla:

- ID (yksilöivä tunnus)
- Tyyppi
- Sijainti (km+m)
- Status (mitattu, suunniteltu, poistettava)
- Rakennusvuosi
- Linkitettyinä käyttöohje, tyyppikuva tms.

Lisäksi osille määritettiin tarkentavia metatietoja, jotka on esitetty työpajan muistion liitteissä.

4.2.5 Työpaja 4: Nimikkeistö ja dokumenttituotanto

Neljännessä työpajassa pohdittiin turvalaite- ja sähköratajärjestelmille käytettävää nimikkeistöä sekä perinteisen dokumenttituotannon ja mallien yhteensovittamista. Nimikkeistön osalta pohdittiin, tulisiko näille tekniikka-aloille käyttää olemassa olevaa InfraBIM-nimikkeistöä, joka määrittää nimikkeistökoodit yleisellä tasolla, vai pitäisikö nimikkeistöä laajentaa turvalaite- ja sähköratajärjestelmille. Lisäksi pohdittiin nimikkeistön tarkkuustasoa sekä nimikkeistön ja Liikenneviraston mittausohjeen koodituksen suhdetta toisiinsa. Perinteisen dokumenttituotannon osalta pohdittiin, voisiko nykyistä dokumenttituotantoa päivittää tietomallintamista tukevaan suuntaan sekä kuinka tietomallintamista voisi kehittää helpottamaan suunnittelutyötä. Alla on esitetty yhteenvedo työpajan tuloksista.

Nimikkeistö

Nykyinen InfraBIM-nimikkeistö ei sisällä omia koodejaan turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osille. Nimikkeistössä on tiettyjä tunnuksia, joihin näiden järjestelmien osia voidaan sisällyttää (esimerkiksi yleisesti *pylväät*). Työpajassa heräsi erilaisia mielipiteitä nimikkeistön käytöstä. Joidenkin mielestä nykyistä nimikkeistöä voisi käyttää niin pitkälti, kun sen on mahdollista ja täydentää vain tarvittavilta osin. Toisten mielestä turvalaite- ja sähköratajärjestelmät ovat niin spesifisiä järjestelmiä, että nimikkeistöön tulisi lisätä kyseisille järjestelmille omat nimikkeistöryhmänsä. Huomautettiin myös, että InfraBIM-nimikkeistön tulisi linkittyä mittausohjeen kooditukseen. Myös nimikkeistön tarkkuustasosta nousi erilaisia mielipiteitä. Toisten mielestä nimikkeistö tulisi laatia mahdollisimman yleisellä tasolla ja sisällyttää tarkemmat tiedot attribuuttitietona, kun taas toisten mielestä nimikkeistön tasolla tulisi tehdä tarkempaa määrittelyä, esimerkiksi sähköratapylväiden tyyppit.

Perinteisen dokumenttituotannon ja mallien yhteensovittaminen

Nykyisestä dokumenttituotannosta ei löydetty mitään dokumentteja, joita voisi luopua tai muokata sisältöä tietomallintamisen myötä. Perinteisten dokumenttien ja mallin yhteensovittamisen helpottamiseksi pääpaino on enemmän tietomallintamisen teknologian ja toimintatapojen kehittämisessä. Formaattia ja ohjelmistoja tulee kehittää siten, että mallista pystytään tuottamaan suoraan dokumentteja, esimerkiksi erilaisia geometriaan perustuvia piirustuksia sekä kaavioita ja luetteloita.

Myös tietomallintamisen ohjeistuksen ja toimintatapojen kehittämisen myötä suunnitteluprosessi ja aineiston tuottaminen helpottuu. Tässä työssä määritettävät nimikkeistö, attribuuittitiedot sekä eri suunnitteluvaiheiden ohjeet helpottavat mallinnusprosessia. Koko suunnitteluprosessia on kehitettävä muun muassa päivittämällä radan suunnitteluohje vastaamaan tietomallipohjaista toimintaa. Myös arkistoja on kehitettävä mallipohjaisiksi. Tulisi myös keskittyä tietomallintamisen hyödyntämiseen jokaisessa vaiheessa, esimerkiksi työmaalla.

Työpajassa pohdittiin myös lainsäädännöllisiä tekijöitä, jotka vaikuttavat suunnitteluprosessin tai dokumenttien muokkaamiseen tietomallintamisen seurauksena. Rajoitavia tekijöitä ovat ainakin ratalaki ja arkistolaki. Pohdittiin, voisiko ratasuunnitelman nähtävillä olon toteuttaa mallina perinteisten dokumenttien sijaan.

4.2.6 Työpaja 5: Mallintaminen hankkeen eri vaiheissa

Viidennessä työpajassa pohdittiin yleis- ja ratasuunnitelmavaiheiden mallinnusvaatimuksia sekä toteumamallin vaatimuksia. Nykyisessä YIV-ohjeessa mainitaan, että yleissuunnitelmavaiheessa malliin ei sisällytetä näitä tekniikka-aloja ja ratasuunnitelmavaiheessa sisällytetään merkittävät rakenteet 3D-objekteina tai tilavarauksina. Ryhmätyössä pohdittiin, tulisiko näitä ohjeistuksia muuttaa tai tarkentaa. YIV-ohjeiden toteumamallin ohjeluoennoksessa ei määritetä vaatimuksia turvalaite- ja sähköratajärjestelmien toteumamallille. Ryhmätyössä pohdittiin, mitä vaatimuksia näiden tekniikka-alojen toteumamalleille tulisi asettaa. Lisäksi pohdittiin yleisestikin tarkemmittauksia ja niiden hyödyntämistä tietomallipohjaisessa toiminnassa. Alla on esitetty yhteenveto työpajan tuloksista.

Mallinnusvaatimukset eri suunnitelmavaiheissa

Työpajassa käytiin läpi tietomallintamisen elinkaari vaiheesta toiseen. Tavoitetilanteessa tietomalli täydentyy vaiheesta toiseen eikä asioita mallinneta useaan kertaan. Mallin kuvautumista ja metatietoja täydennetään ja tarkennetaan hankkeen edetessä.

Todettiin, että yleissuunnitelmavaihe on liian karkeatasoinen mallintamiselle. Yleissuunnitelmavaiheessa mallintaminen tulisi olla esimerkiksi riskien mallintamista. Ratasuunnitelmavaiheessa tulisi mallintaa ainakin isomman tilavarauksen vaativat rakenteet, esimerkiksi laitetilat, kojut, kaapit ja syöttöasemat. Lisäksi lähtötietoja tulisi mallintaa jokaisessa suunnitelmavaiheessa täydentäen niitä suunnittelun edetessä.

Erityisesti turvalaitesuunnittelun ominaispiirteenä on, että rakentamissuunnitelmavaihetta edeltävissä vaiheissa suunnittelu on karkeaa. Elementtien sijaintitiedot ovat suuntaa-antavia ja saattavat poiketa lopullisesta sijainnista huomattavasti. Pohdittiin, pitäisikö suunnitteluprosessia pyrkiä muuttamaan siihen suuntaan, että jo aikaisemmissa suunnitteluvaiheissa suunniteltaisiin tarkemmin. Tämä lisäisi suunnittelun kustannuksia aikaisemmissa suunnitteluvaiheissa, mutta toisaalta helpottaisi suunnittelua myöhemmissä vaiheissa. Huomautettiin, että kaikkia yleis- ja ratasuunnitelmavaiheiden suunnitelmia ei kuitenkaan toteuteta, jolloin aikaisissa suunnitteluvaiheissa toteutettu tarkka suunnittelu menisi hukkaan.

Toteumamalli

Toteumamallia käsittelevä ryhmätyö oli aiheena hieman haastava, sillä se oli vieras asia monelle osallistujalle. Aihetta lähdettiin miettimään rekistereiden ja tietovarastojen kautta. Nostettiin esille, että käytössä on useita erilaisia rekistereitä eikä tietojen vientiä rekistereihin ole koordinoitu selkeästi. Rekisterit tulisi tarvittavilta osin yhtenäistää ja muuttaa mallipohjaisiksi, sillä suunnittelun ja toteutuksen aikana kertynyttä mallipohjaista tietoa ei tule muuttaa yksinkertaisempaan muotoon rekistereitä varten. Rataan liittyvä tieto esitetään rekistereissä tyypillisesti radan kilometripaalutuksen mukaisesti, mistä tulisi pyrkiä eroon. Sijaintitieto tulisi ilmoittaa ensisijaisesti koordinaattitietona.

Tällä hetkellä toteumatietojen mittaaminen on osin puutteellista, vaikka sopimuksiin olisikin sisällytetty vaatimukset tarkemmittauksille. Tämä johtuu pitkälti siitä, että tarkemmittauksia ei vaadita tarpeeksi aktiivisesti. Erityisesti maanalaisten rakenteiden mittaukset tulisi vaatia rakennusvaiheessa, koska niiden sijainteja on jälkikäteen vaikea todentaa. Rakentamisen yhteydessä huolellisesti suoritettut mittaukset säästävät rahaa tulevaisuudessa, kun kohteeseen tehdään muutoksia tai kunnossapitotoimenpiteitä.

Toteumatietoa tulisikin voida hyödyntää lähtötietoina esimerkiksi suunnitteluun ja kunnossapitoon, mutta se edellyttää, että tiedon on oltava oikeassa formaatissa, ajantasaista ja luotettavaa. Tämä edellyttää tietojen ylläpitämistä ja päivittämistä kaikkien toimenpiteiden jälkeen, myös pienten urakoiden sekä kunnossapitotoimenpiteiden. Lisäksi on huomioitava myös muut tekniikka-alat, joiden rakenteita (esimerkiksi maanalaisia johtoja) on rata-alueella. Ongelmaksi tässä nähtiin aikaisemmin toteutetut maanalaiset rakenteet, joista ei ole välttämättä tarkkaa mittaustietoa ja joita on vaikea todentaa jälkikäteen.

Tavoitteena olisi, että toteutusmalli päivitetään toteumamalliksi tarkemmittausten perusteella. Tätä mallia voisi käyttää kunnossapidossa. Kunnossapitoon käytettäviin malleihin on määritettävä lisää attribuutteja, esimerkiksi toimenpiteiden päivämäärät. Näiden attribuuttitietojen avulla voisi ennakoida vaadittavia toimenpiteitä hakemalla tietoja suoraan mallista. Omaisuudenhallinnan näkökulmasta malliin olisi tärkeää sisällyttää toteutetun osan yksilöiviä tietoja, kuten valmistus- ja materiaalitietoja, ja pitää kirjaa kaikesta muutoshistoriasta.

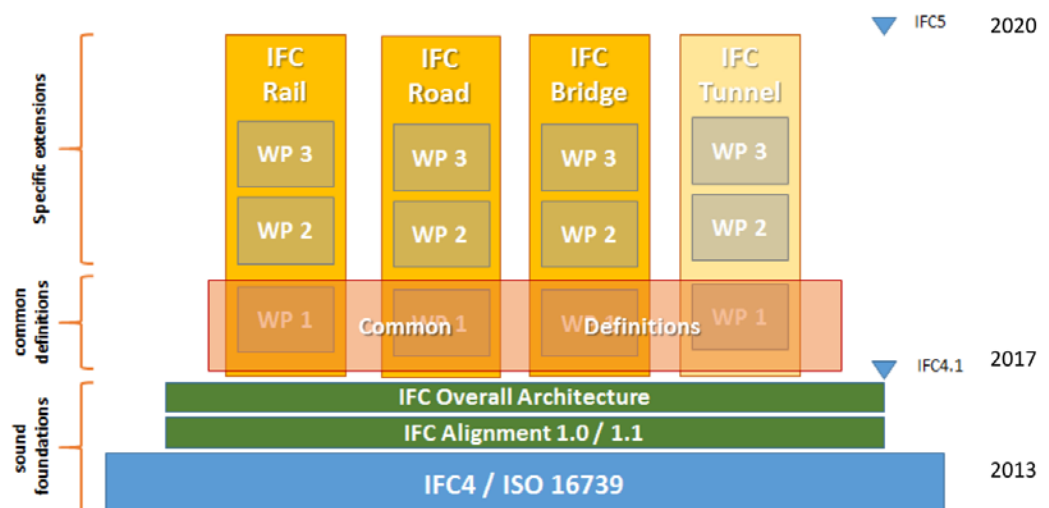
Toinen näkökulma toteumamallille on todentaa tilaajalle kohteen lopullinen toteutus. Tästä näkökulmasta pohdittiin toteumamallin tarkkuutta. Jotta toteutus voidaan todentaa tilaajalle, tulisi toteumamallin olla havainnollinen eikä pelkästään pistemäistä mittausdataa.

5 Suuntaviivat turvalaite- ja sähkörata- tekniikan mallintamisen kehittämiseen

5.1 Turvalaite- ja sähköratamallintamisen nykytilanne

Turvalaite- ja sähköratatekniikan tietomallintamiselle ei ole luotu kansainvälisiä standardeja eivätkä avoimet tiedonsiirtoformaatit sisällä määrittelyjä näiden tekniikka-alojen tarpeisiin (Zhao 2017). Näin ollen myöskään ohjelmistotalot eivät ole kehittäneet ohjelmistojaan vastaamaan näiden tekniikka-alojen tietomallintamisen tarpeita. Myöskään Suomessa kansallisella tasolla ei ole määritetty näiden tekniikka-alojen tietomallintamisen sisältöä eikä infra-alalla käytettyä Inframodel-tiedonsiirtoformaattia ole laajennettu kattamaan näitä tekniikka-aloja.

bSI:n ylläpitämää ja kehittämää IFC-tiedonsiirtoformaattia ei käytetä infra-alalla, sillä se ei sisällä riittäviä määrittelyjä infra-alan tarpeisiin. Tästä johtuen bSI on käynnistänyt kehitystyön IFC-formaatin laajentamiseksi infra-alalle. Kuvassa 12 on esitetty kehitystyön vaiheet. Vuonna 2017 ovat valmistuneet *IFC Overall Architecture* -selvitys, jossa määritettiin suuntaviivoja IFC:n laajentamiselle sekä *IFC Alignment* -standardi, joka sisältää määrittelyt infrakohteiden geometrialle. Seuraava askel on luoda infran eri tekniikka-aloille yhteiset määrittelyt, joiden pohjalta jokaisen tekniikka-alan määrittelyjä lähdetään kehittämään omina projekteinaan. Rata-, tie-, silta- ja tunneliprojektien on arvioitu valmistuvan vuonna 2020. Standardoinnin jälkeen julkaistaan uusi versio IFC-formaatista. Uuteen IFC5-versioon on sisällytetty näiden tekniikka-alojen vaatimukset. (bSI 2017c)



Kuva 12. IFC-formaatin laajentaminen infra-alan tarpeisiin (Perttula 2017)

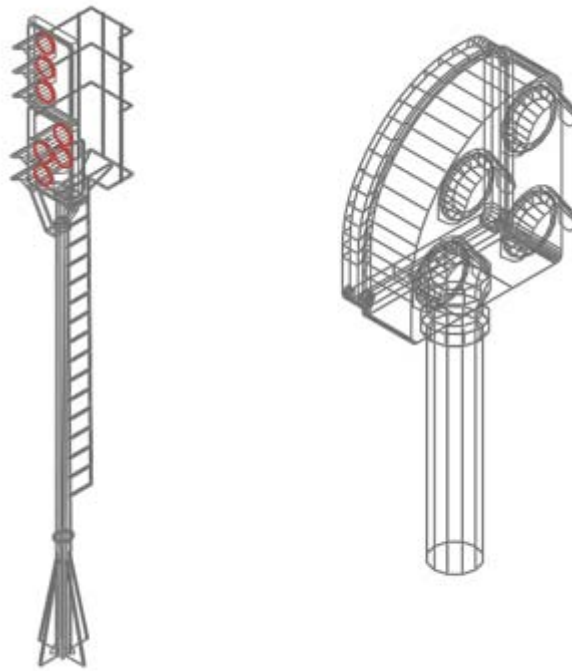
IFC Rail -projektissa määritetään radan vaatimukset IFC-formaatin laajentamiselle. Projektin pohjana toimii *China Railway BIM Alliance* -organisaation tekemä selvitystyö radan tietomallinnuksen tiedonsiirtoformaattien kehittämisestä (Zhao 2017). Selvitystyön lähtökohtana oli radan tietomallinnuksen standardien puute. Työssä selvitettiin, kannattaako Kiinan luoda omat standardit radan tietomallintamiseen vai laajentaa olemassa olevia formaatteja. Kannattavimpana nähtiin IFC:n laajentaminen. bSI on julkaissut *China Railway BIM Alliance*:n kehittämän *IFC Rail bSI SPEC*-dokumentin, jossa on määritetty IFC-standardointiin liittyviä asioita radan osalta (*China Railway BIM Alliance* 2017). Myös turvalaite- ja sähköratajärjestelmät on otettu huomioon kyseisessä dokumentissa. bSI SPEC-dokumentti ei ole virallinen standardi vaan luonnosversio, jota muut toimijat voivat kommentoida (bSI 2017d).

Rataan liittyvä *IFC Rail* -projekti on kansainvälinen projekti ja myös Pohjoismailla on edustajansa projektissa. Pohjoismailla on tarkoituksena toimia yhteistyössä BIM-kehitystyössä samankaltaisten toimintaympäristöjen takia. Pohjoismaat ovat kehittäneet aktiivisesti tietomallintamista myös kansallisesti. Suomen lisäksi ainakin Norja on pyrkinyt nykyisen teknologian mahdollistamissa puitteissa sisällyttämään inframalleihin myös turvalaitteita ja sähköratarakenteita.

Suomessa turvalaite- ja sähköratasuunnittelu toteutetaan kuitenkin pääasiassa edelleen perinteisin menetelmin. Näiden tekniikka-alojen rakenteita on mallinnettu jossain määrin kolmiulotteisten objektien avulla. Malleihin on sisällytetty lähinnä opastimia, turvalaitekaappeja, kaapelikanavia, alitusputkia, sähköratapylviä ja niiden perustuksia. Mallien tiedonsiirtoformaatti on ollut pääasiassa dwg-formaatti. Mallintaminen on ollut pääasiassa kohteen kolmiulotteista havainnollistamista, sillä mallit eivät ole sisältäneet juurikaan kohteeseen liittyvää ominaisuustietoa. Jotkut toimijat ovat lisänneet dwg-objekteihin attribuuttitietoina osien perustietoja, kuten elementin mallin tai tyypin. Vaatimuksissa ei ole kuitenkaan määritetty, mitä ominaisuustietoja objektien pitäisi sisältää. Suunnittelu ei ole ollut varsinaisesti mallipohjaista, sillä mallintaminen on toteutettu pääasiassa vasta sen jälkeen, kun suunnitelmat on ensin laadittu perinteisin menetelmin ja niihin on saatu hyväksyntä.

Näiden tekniikka-alojen mallintamiselle ei ole määritetty tarkempia vaatimuksia YIV-ohjeistuksessa. YIV-ohjeessa ei määritetä tarkemmin malliin sisällytettäviä osia, tarkkuusvaatimuksia tai ominaisuustietoja. InfraBIM-nimikkeistössä on määritetty yleisesti opastus- ja sähköjärjestelmien osia, mutta nimikkeistössä ei ole määritetty erikseen turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osia. Ohjeistuksen ja vaatimusten puutteellisuuden takia ei ole ollut yhtä selkeää toimintatapaa näiden tekniikka-alojen mallintamiseen. Tästä johtuen tilaaja ei ole osannut määrittää riittävän tarkasti näiden tekniikka-alojen mallintamisen vaatimuksia eikä palveluntuottajien toimintatavoissa ole ollut yhtenäistä linjaa.

Ratahankkeiden visualisointia varten on luotu turvalaitteita ja sähköratarakenteita sisältävä 3D-objektikirjasto, jota palveluntuottajat ovat käyttäneet apuna mallintamisessa. Kirjasto sisältää muun muassa erilaisia opastimia ja sähköratapylviä 3D-objekteina max- ja dwg-formaateissa. Kuvassa 13 on esitetty kirjastossa olevia 3D-objekteja. Objektit on tarkoitettu alun perin karkeampaa visualisointia varten, joten objekteja ei ole luotu vastaamaan mallintamisen vaatimaa tarkkuustasoa. Eri toimijat ovat luoneet eri suunnitteluhankkeiden yhteydessä lisää 3D-objekteja, muun muassa eri variaatioita sähköratapylväistä sekä sähkörataportaaleja. Objektit ovat siirtyneet toimialta toiselle tarpeen mukaan, mutta kaikkia olemassa olevia objekteja ei ole kartoitettu ja tuotu yhteen kaikkien saataville.



Kuva 13. Dwg-muotoisina 3D-objekteina esitetyt pää- ja esiopastinyhdistelmä (vasemmalla) sekä raideopastin (oikealla)

Suunnittelijat kokevat mallintamisen työläänä mallinnusohjelmistojen puutteen takia. Mallintaminen on tehty manuaalisesti 2D-suunnitelmien perusteella ja se on vaatinut useamman työvaiheen. Osien x,y-sijaintitiedot on viety radan mallinnusohjelmistoihin, joiden avulla niille on määritetty korkeustiedot. Pistemäisiin sijainteihin on manuaalisesti liitetty 3D-objektit, joille on pitänyt määrittää myös oikea suuntaus radan mukaisesti. Viivamaiset kohteet, esimerkiksi suojaputket ja kaapelikanavat, on mallinnettu pursotustyökalulla. Mallit on tehty pääasiassa vasta suunnitelmaratkaisujen hyväksymisen jälkeen, sillä mahdolliset muutokset on pitänyt tehdä erikseen suunnitelmiin ja malleihin.

Myös Norjassa turvalaitteiden ja sähköratarakenteiden mallintamista on toteutettu pitkälti samoin keinoin kuin Suomessa, eli dwg-muotoisten 3D-objektien avulla. Norjassa on luotu julkinen 3D-objektikirjasto tietomallintamisen tueksi. Kirjasto sisältää runsaasti erilaisia turvalaitteita ja sähköratarakenteita. Malleihin on sisällytetty esimerkiksi opastimet, sähköratapylväät, niiden perustukset, ajolangat ja kaapelikanavat. Mallintamisen ohjeistukseksi on luotu radan digitaalista suunnittelua käsittelevä käsikirja, määritetään mallien sisältö ja mallinnustavat sekä käytettävät tiedonsiirtoformatit. (Lysebo 2016)

Norjan ratahallinto, BaneNOR on tehnyt ohjelmistokehittäjä Trimblen kanssa turvalaite- ja sähköratamallintamisen kehitystyötä, jonka tuloksena on syntynyt erilliset lisäosat ratajohdon, opastimien ja sähköjohtojen suunnitteluun Novapoint 20.00 -ohjelmistoon. Lisäosat vastaavat Norjan tarpeita ja ovat käytössä ainoastaan Norjassa (Lysebo 2017).

Vaikka mallintaminen on keskittynyt Norjassa kolmiulotteiseen havainnollistamiseen ja tavoitteet ovat olleet lähinnä tekniikka-alojen yhteensovituksessa ja visualisoinnissa, on mallintamisella saavutettu hyötyjä. Mallintamista pilotoitiin InterCity-hankkeessa käyttäen malleja koko hankkeen ajan suunnittelutyökaluina täydentäen malleja suunnitteluvaiheesta toiseen. Mallintamisella onnistuttiin ainakin pilottihankkeessa saavuttamaan mallintamiselle asetetut tavoitteet, sillä InterCity-hankkeen rakentamisvaiheessa ei huomattu yhtäkään tekniikka-alojen ristiriitaa. Myös perinteisten piirustusten määrää on onnistuttu vähentämään. (Lysebo 2016)

5.2 Mallinnusvaatimukset

5.2.1 Mallinnettavat rakennusosat

Taustatutkimuksessa nousi esille turvalaite- ja sähköratamallintamisen vaatimusten ja ohjeiden puute, minkä vuoksi tilaajalla ja palveluntuottajilla ei ole ollut selkeää käsitystä mallintamisen sisällöstä. Työpajoissa määritettiin yhteisesti turvalaite- ja sähköratamallien mallinnusvaatimukset, eli mallin sisältö sekä mallinnustapa ja -tarkkuus. Pyrkimyksenä oli luoda järkevät vaatimukset, joihin kaikki toimijat sitoutuvat.

Ideaalitilanteessa tietomalli sisältäisi järjestelmien kaikki osat sekä osien väliset yhteydet ja riippuvuudet. Osat kuvautuisivat tarkasti ja yksityiskohtaisesti ja ne sisältäisivät kaiken metatiedon suunnittelun, rakentamisen, kunnossapidon ja omaisuudenhallinnan tarpeisiin. Erityisesti turvalaitteiden osalta osien väliset yhteydet ja riippuvuudet ovat oleellista tietoa, sillä on oleellista tietää esimerkiksi mihin asetinlaitteeseen turvalaite-elementit on kytketty. Nykyinen teknologia ei mahdollista objektien välisten riippuvuuksien mallintamista. Mallinnustyö vaatii vielä kohtuullisen paljon manuaalista työtä, joten yksityiskohtaisen mallintamisen hyödyt eivät ole tarpeeksi suuret suhteessa työmäärään. Mallintamisen sisältö ja tarkkuustaso on määritettävä nykyisiä mallinnustavoitteita tukevaksi siten, että kustannukset eivät kasva liian suuriksi suhteessa saavutettaviin hyötyihin. Turvalaite- ja sähköratatekniikan tämän hetkiset mallintamistavoitteet keskittyvät rakennettavuuden varmistamiseen yhteensovituksen ja törmäystarkastelujen avulla sekä kohteen visualisointiin.

Alla on määritetty mallinnustavoitteiden kannalta ensisijaisesti mallinnettavat osat sekä niiden mallinnustapa ja -tarkkuus nykyisiä mallinnustavoitteita tukevaksi. Työmäärä ja mallin sisältö on pyritty pitämään mahdollisimman kevyenä teknologian rajoitteista johtuen. Nykyisten mallinnustavoitteiden luonteen takia mallinnettavat osat ovat radan varrella olevia fyysisiä elementtejä. Osien mallinnustavaksi määritettiin mitoituskeltaan ja visuaalisuudeltaan tarkka 3D-objekti, karkeampi tilavaraus tai pelkästään sijaintitieto, jota havainnollistetaan jollakin yksinkertaisella symbolilla. Tilavaruuksista on huomioitava, että tilavaraus ei ole pelkästään elementin fyysinen koko vaan se kattaa koko liiketilan sekä turvaetäisyydet. Mallinnustavasta riippumatta jokaisesta osasta on vähintäänkin tunnistettava, mikä rakennusosa on kyseessä.

Opastimet

Opastimet ovat merkittävän kokoisia elementtejä, jotka sijaitsevat radan jännitteellisten osien välittömässä läheisyydessä, joten niiden mallintaminen ovat oleellisia yhteensovituksen ja törmäystarkastelun kannalta. Rakennusvaiheessa on usein kohdattu ongelmia opastimien asentamisen kanssa, kun suunnitteluvaiheessa ei ole otettu huomioon esimerkiksi opastimen ja ratajohdon yhteensovitusta. Suunnitelmissa ei ole aina opastimien tarkkoja koordinaattisijainteja, vaan tarkempi sijoittaminen on jätetty

työmaan vastuulle, jolloin asennusvaiheessa ilmenee helposti odottamattomia ongelmia. Epäkohtien havaitseminen vasta rakennusvaiheessa aiheuttaa muutostöitä ja aikatauluviiveitä, jotka taas aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia. Yhteensovitukset ja rakennettavuuden varmistamisen lisäksi opastimet ovat merkittävän kokonsa takia oleellisia kohteen visualisoinnin kannalta. Mallintamisen avulla pystytään myös tarkastelemaan opastinten näkemävaatimuksia (Mäkelä 2014).

Malliin tulee sisällyttää kaikki opastimet, joista yleisimmät ovat pää-, esi- ja raideopastimet. Tarvittaessa myös muut harvinaisemmat opastimet, kuten yhdistelmäopastin, mallinnetaan. Opastimet mallinnetaan 3D-objekteina mitoitukseltaan ja visuaalisuudeltaan tarkasti. 3D-objekteista tulisi selvittää tarkasti opastimen vaatima tila. Lisäksi eri tyyppiset opastimet tulisi tunnistaa toisistaan ulkonäön perusteella. Opastimet mallinnetaan aina tietynlaisella perusmallilla, joten eri tyyppisistä opastimista voidaan luoda valmiit objektit objektikirjastoon. Opastintaulut voidaan sijoittaa joko mastoon tai portaaliin. Näin ollen opastintaulut tulisikin mallintaa erikseen, jolloin ne voidaan sijoittaa joko mastoon tai portaaliin. Portaali ja sen pylväävät muodostuvat tyyppipaloista, joista tulisi luoda valmiit objektit 3D-kirjastoon. Tyyppipaloista muodostetaan tapauskohtaisesti opastinportaalin malli. Opastinportaalien perustukset tulee mallintaa tapauskohtaisesti mitoitukseltaan tarkkoina 3D-objekteina. Pieniä yksityiskohtia, kuten kiinnitysruuveja, ei tarvitse mallintaa. Opastinmastojen perustukset ovat tyyppi-perustuksia, jotka voidaan sisällyttää mastojen 3D-objektiin.

Kaapelireitit ja -kaivot

Kaapelireittien mallintaminen on tärkeää yhteensovituksen ja törmäystarkastelujen kannalta. Varsinkin maanalaisten rakenteiden kohtaaminen muiden rakenteiden kanssa on vaikea hahmottaa 2D-kuvista. Esimerkiksi sähköratapylväiden perustukset ovat massiivisia, joten on tärkeää pystyä varmistamaan niiden yhteensovitus kaapelireittien kanssa. Kaapeleiden sovitusta olemassa olevien kaapeleiden kanssa on myös erittäin tärkeää. Radan kaapelireiteillä, esimerkiksi kaapelikouruissa, kulkee monia eri kaapeleita. Tiedonhallinnan näkökulmasta on tärkeää mallintaa ja yksilöidä jokainen kaapeli. Mallista tulisi selvittää, mistä jokainen kaapeli alkaa ja mihin päättyy.

Kaapelikourut ja alitusputket mallinnetaan tilavarauksina. Yksittäiset kaapelit mallinnetaan taiteviivoina. Jokainen kaapeli mallinnetaan. Lisäksi kaapeli- ja kytkentäkaivot sekä kytkentärasiat ja läpivientipölkkyt mallinnetaan lieriömäisinä tai laatikkomaisina tilavarauksina. Jos malliin on sisällytetty myös muut ratapölkkyt, tulee läpivientipölkkyt erottaa tavallisista pölkkyistä esimerkiksi värin avulla.

Kaapit, kojut ja laitetilat

Kaappien, -kojujen ja muiden laitetilojen, kuten asetinlaitetilojen, mallintaminen on tärkeää yhteensovituksen ja törmäystarkastelujen kannalta. Kaapit, kojut ja laitetilat vaativat merkittävän kokoisen tilavarauksen ja saattavat edellyttää esimerkiksi levennyksen ratapenkereeseen. Yhteensovitus ratapenkereen kanssa on oleellista, jotta ratapenger osataan mallintaa tarvittaessa leveämpänä ja saadaan tehtyä realistisemmat massalaskennat. Kaappien sisällyttäminen malliin on tärkeää myös niiden ja muiden laitteiden välisten kaapelireittien takia, jotta tiedetään mihin kaappiin tai laitetilaan laitteet on kytketty. Kaikki kaapit, -kojut ja laitetilat mallinnetaan laatikkomaisina tilavarauksina. Visuaalisen ilmeen ei tarvitse olla yksityiskohtainen, mutta tilavarauksen tulisi vastata kooltaan todellisuutta mahdollisimman tarkasti.

Vaihteiden laitteet

Tässä työssä vaihteita ei varsinaisesti sisällytetty turvalaitteisiin eikä näin ollen niiden mallintamista käsitelty tarkemmin, vaikkakin niiden mallintamisen tärkeys huomattiin. Tässä työssä huomioitiin vaihteisiin liittyvät laitteet, jotka ovat selkeästi osa turvalaittejärjestelmää.

Vaihteisiin liittyvistä turvalaitteista erityisesti vaihteenkääntölaitteiden mallintaminen on tärkeää. Vaihteenkääntölaite vaatii usein ratapenkkaan levennyksen, joka jää helposti ottamatta huomioon suunnitteluvaiheessa. Vaihteenkääntölaite mallinnetaan laatikkomaisella tilavarauksella. Tulevaisuudessa vaihteenkääntölaitteen suhdetta vaihteen malliin tulisi tarkastella. Nykytilanteessa vaihde-elementtejä ei juurikaan mallinneta tarkemmin kuin raiteen geometrian näkökulmasta. Kun vaihteiden mallintaminen kehittyy ja vaihteista luodaan mahdollisesti valmiita malleja, voisi vaihteenkääntölaitteen sisällyttää tai linkittää vaihteen malliin.

Vaihteenkääntölaitteiden lisäksi työpajoissa nostettiin esille vaihteisiin liittyvien painikkeiden koteloiden sekä raiteensulkujen mallintaminen. Näitä varten voidaan luoda valmiit yksinkertaiset mallit 3D-kirjastoon, sillä nämä mallinnetaan aina samanlaisella perusmallilla. Valmiin objektin ei tarvitse olla kovin yksityiskohtainen.

Muita vaihteisiin liittyviä turvalaitteita, kuten pysäytyslaitteita ja raiteen päätepuskimia, ei nostettu työpajoissa esille. Näiden mallintamisen tarpeellisuus tarkentunee pilotoinnin edetessä.

JKV-järjestelmä

JKV-järjestelmän osalta oleellista on mallintaa baliisit. Baliisit ovat kooltaan suhteellisen pieniä ratalaitteita ja ne sijaitsevat sellaisessa paikassa, että niiden kannalta törmäystarkastelut eivät ole kovin oleellisessa roolissa. Baliisien sijaintitieto sekä kaapelointi ovat kuitenkin oleellisia tietoja. Näin ollen baliisien mallintamiseen riittää pistemäinen tieto, johon liitetään yksinkertainen symboli, esimerkiksi suorakulmio. Symbolia ei tulisi mallintaa baliisin todellisen koon mukaisesti, sillä pienen koon vuoksi kohde saattaa jäädä huomaamatta mallista.

Vapaanaolon valvonta

Vapaanaolon valvontaan käytetyt akselinlaskijat eivät ole oleellisia sisällyttää malliin fyysisten törmäystarkastelujen takia, sillä komponentit ovat kooltaan pieniä. Oleellisempaa on komponenttien paikkatieto ja riippuvuudet muihin järjestelmien osiin. Vapaanaolon valvonnan osalta tässä vaiheessa tulisi mallintaa akselinlaskijat pistemäisenä tietona, johon liitetään yksinkertainen symboli samaan tapaan kuin baliisien kohdalla. Vapaanaolon valvontaan liittyvät kytkentärasiat ja -kaivot mallinnetaan tilavarauksina, kuten edellä kaapelireittien yhteydessä mainittiin.

Tasoristeyslaitteet

Tasoristeyslaitteet, eli puomeista, valoista ja äänilaitteista koostuvat varoituskaitokset voidaan mallintaa tapauskohtaisesti tilavarauksella.

Sähköratapylväät ja -portaalit

Sähköratapylväät ja -portaalit sekä niiden perustukset ovat merkittävän kokoisia ja ne kannattelevat radan jännitteellisiä osia, joten niiden mallintaminen on oleellista yhteensovituksen ja törmäystarkastelujen sekä visualisoinnin kannalta. Sähköratapylväiden yhteensovittaminen on tärkeää esimerkiksi opastimien kanssa, jotta voidaan varmistaa, että ne eivät ole esteenä opastimien näkemälle. Myös pylväiden harusten mallintaminen on oleellista, jotta voidaan varmistaa, että harus pysyy ratarakenteessa.

Pylväiden perustukset ovat merkittävän kokoisia maanalaisia rakenteita, joten niiden mallintaminen on oleellista yhteensovituksen kannalta. Kuten edellä jo todettiin, maanalaisten rakenteiden yhteensovitus on haastavaa pelkkien 2D-kuvien perusteella. Mallintamalla perustukset ja sovittamalla ne yhteen muiden maanalaisten rakenteiden kanssa, pystytään varmistamaan suuremmalla varmuudella perustusten rakennettavuus suunniteltuun paikkaan. Lisäksi perustusten mallintamisella voidaan helpottaa perustusten asentamista työmaalla, sillä mallista saadaan selville tarkasti perustuksen alapinnan koko ja sijaintitiedot.

Pylväät ja portaalit mallinnetaan 3D-objekteina. Pylväitä ja portaaleja on useita eri tyyppisiä, jotka ovat ulkonäöltään, ominaisuuksiltaan ja käyttötapauksiltaan erilaisia. Saman pylväs- tai portaalityypin sisällä pararekoot ja korkeudet vaihtelevat. Jokainen pylväs ja portaalit tulisi mallintaa mitoitukseltaan tarkasti ja visuaalisesti yksityiskohtaisesti. Eri tyyppisistä I-, P- ja R-pylväistä tulisi luoda valmiit objektit objektikirjastoon. Myös portaalien tyyppipaloista tulisi luoda valmiit objektit kirjastoon, jolloin paloista saa yhdistettyä tapauskohtaisesti vaadittavan portaalirakenteen.

Sähköratapylväiden perustukset on mitoitettava tapauskohtaisesti, joten niistä ei voida luoda valmiita objekteja. Aikaisemmin on ollut käytössä sähköratapylväiden tyyppiperustukset, mutta Liikennevirasto on linjannut, että valmiita tyyppiperustuksia ei tule käyttää suunnittelussa. Jokainen perustus on mitoitettava ja mallinnettava tapauskohtaisesti. Perustukset tulee mallintaa kooltaan ja muodoltaan tarkkoina 3D-objekteina. Pieniä yksityiskohtia, kuten kiinnitysruuveja, ei tarvitse mallintaa.

Ratajohto

Ratajohtoon kuuluvat sähköradan jännitteelliset osat, joten yhteensovittaminen muiden rakenteiden kanssa on oleellista. Jännitteellisten osien vaadittavat turvaetäisyydet tulee varmistaa, mikä on helpompaa mallin avulla kuin perinteisistä suunnitteludokumenteista. Myös sähköradan erotusjaksot tulisi myös saada sisällytettyä malliin muun muassa tekniikkalajien yhteensovituksen takia.

Lankojen ja johtimien mallintamisessa on otettava huomioon jännitteellisten osien vaaditut turvaetäisyydet sekä sijainnin vaihtelu muun muassa lämpötilan sekä jää- ja tuulikuormien takia. Langat ja johtimet tulisi mallintaa tilavarauksena, joka kattaa turvaetäisyydet sekä koko liiketilan. Näin pystytään varmistamaan muiden osien vaadittavat etäisyydet jännitteellisiin osiin kaikissa tilanteissa. Tilavarauksena mallintaminen saattaa olla haastavaa nykyisellä teknologialla, joten tilavarauksena mallintamista tulisi pilotoida. Jos tilavarauksena mallintamista ei koeta hyödylliseksi, ajolangat ja johtimet tulisi mallintaa taiteviivoina ja varmistaa muilla tavoin vaadittavat turvaetäisyydet. Esittelymallia varten ajolangat ja johtimet tulisi mallintaa pelkästään tai-

teviivoina visuaalisen selkeyden vuoksi. Kääntöorret mallinnetaan valmiiden yksinkertaisten 3D-objektien avulla. Kääntöorsia ei tarvitse mallintaa yksityiskohtaisen tarkasti. Erotusjaksot tulisi sisällyttää ratajohdon malliin esimerkiksi eri väreillä.

Maadoitukset

Sähköradan maadoitusten sijaintitiedot ovat oleellisia yhteensovituksen ja turvallisuuden takia, joten maadoitukset tulisi mallintaa joko piste- tai viivatietona riippuen maadoituksen tyypistä.

Muuntajat

Erilaisten muuntajien, kuten imu-, erotus- ja lämmitysmuuntajien tarkka ja yksityiskohtainen mallintaminen ei ole tässä vaiheessa välttämättömän tarpeellista. Muuntajat tulee sisällyttää malliin yksinkertaisina laatikkomaisina tilavarauksina. Muuntajat mallinnetaan aina tietyn kokoisina, joten niistä voidaan tehdä objektikirjastoon valmiit yksinkertaiset, laatikkoimaiset 3D-objektit.

Syöttöasemat

Syöttöasemat tulee merkittävän kokonsa takia sisällyttää malliin vähintäänkin alue- tai tilavarauksina. Syöttöasemien tarkempaan mallintamiseen ei oteta kantaa tässä työssä.

Muut osat

Tämän työn yhteydessä nousi esiin myös muita turvalaite- ja sähköratajärjestelmien tai niihin liittyvien tekniikkalajien osia, joiden mallintaminen ei ole ensisijaisen tärkeää nykyisten mallinnustavoitteiden kannalta, tai joiden mallintaminen olisi nykyisellä teknologialla työlästä tai mahdotonta. Nämä osat tulee sisällyttää malliin teknologian kehittyessä tai hankekohtaisesti erikseen sovittaessa. Tällaisia osia ovat muun muassa:

- radan merkit
- vahvavirtaan liittyvät osat
- valaistus
- erottimet
- junakulkutiet ja niihin liittyvät tiedot, kuten raideosuudet, vaihdeosuudet, sivusuojat ja valvontaehdot
- raide-eristykset

5.2.2 Mallinnustapa

Turvalaite- ja sähköratamallien tulee sijaita hankkeen virallisessa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä. Mittayksikkönä tulee käyttää metriä. Mikäli mallintamisen yksikkönä käytetään ohjelmateknisistä tai muista syistä johtuen millimetriä, tulee varmistaa, että yhdistelmämallissa mittayksikkö on muunnettu metriksi. Käytetyn koordinaatti- ja korkeusjärjestelmän sekä mittayksikön tulee ilmetä joko mallin perustiedoista tai tietomalliselostuksesta. Mikäli mallinnusteknologian takia turvalaite- ja sähköratajärjestelmien rakennusosia mallinnetaan paikalliskoordinaatistossa, tulee tietomalliselostuksessa ilmoittaa viralliseen koordinaatistoon siirtämiseen tarvittavat tiedot.

Turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osille tulee määrittää sijaintitiedot mallintamista varten. Turvalaite- ja sähköratajärjestelmiin kuuluu pääasiassa laitteita ja elementtejä, joille määritetään pistemäinen (x,y,z) sijaintitieto. Sijaintipisteeseen lisätään joko mitoitukseltaan tarkka 3D-objekti, yksinkertainen tilavaraus tai muu yksinkertainen symboli luvussa 5.2.1 esitettyjen vaatimusten mukaisesti. 3D-objekteihin ei tarvitse sisällyttää tilavuusominaisuuksia. Kohteelle määritetään tarvittaessa myös suuntaus, jotta kohde on suunnattu oikein radan suuntaan nähden. Ilma- ja maakaapeille sekä niiden suojarakenteille määritetään sijaintitiedot taiteviivana taitepisteiden (x,y,z) avulla tai putkimaisena tilavarauksena.

Rakennusosien sijaintitietojen tulee vastata Liikenneviraston tie- ja ratahankkeiden mittausohjeessa määritettyjä mittaustietoja, jotta mallinnettuja tietoja voidaan verrata mitattuun tietoon. Näin ollen mallinnettavien rakennusosien sijaintitiedot määritettiin pitkälti mittausohjeen mukaisesti. Mittausohjeessa ei oltu määritelty kaikille rakennusosille z-koordinaatin mittaustapaa. Puuttuvat z-koordinaatit määritettiin oleellisen korkeustiedon mukaisesti. Mittausohjeeseen tulisi päivittää puuttuvat z-koordinaatit, sillä mallipohjaiseen toimintaan siirryttäessä on tärkeää toteuttaa mittaukset kolmeulotteisina yhtenevien käytäntöjen mukaisesti. Taulukossa 3 on määritetty turvalaitejärjestelmän ja taulukossa 4 sähköratajärjestelmän malliin sisällytettävien osien mallinustapa ja -tarkkuus.

Taulukko 3. Turvalaitejärjestelmän osien mallinnustapa

Rakennusosa	Mallinnustapa
Opastimet	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään valmis 3D-objekti. Sijaintitieto pylvään keskikohdasta, pylvään ja jalustan liitoskohdasta.
Opastinportaalit ja -ulokkeet	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään valmiista pylväs- ja portaaliobjekteista muodostettu 3D-objekti. Sijaintitieto pylvään keskikohdasta, perustuksen yläpinnasta.
Opastinportaalin perustukset	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään tapauskohtaisesti mallinnettu 3D-objekti. Sijaintitieto perustuksen yläpinnan keskipisteestä.
Baliisit	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään suora-kulmiosymboli. Sijaintitieto baliisiin keskeltä rata-/maastomallin yläpinnasta.
Kaapelikourut	Sijaintitieto taiteviivana (x,y,z), mallinnetaan kourun tilavarauksena. Sijaintitieto kourun keskeltä yläpinnasta.
Kaapelit	Sijaintitieto taiteviivana (x,y,z). Korkeustieto kaapelin yläpinnasta.
Alitusputket	Sijaintitieto taiteviivana (x,y,z), mallinnetaan putken tilavarauksena. Sijaintitieto putken yläpinnasta.
Kaapelikaivot ja -rasiat	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään lie-riömäinen tai laatikkomainen tilavaraus. Sijaintitieto kaivon keskipisteestä, kannen yläpinnasta.
Läpivientipölkyt	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään laatikkomainen tilavaraus. Sijaintitieto pölkyn keskeltä, rata-/maastomallin yläpinnasta.
Turvalaitekaapit	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään laatikkomainen tilavaraus. Sijaintitieto kaapin keskeltä, rata-/maastomallin yläpinnasta.
Turvalaitekojut	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään laatikkomainen tilavaraus. Sijaintitieto kojun keskeltä, rata-/maastomallin yläpinnasta.
Asetinlaitetilat	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään laatikkomainen tilavaraus. Sijaintitieto tilan keskeltä, rata-/maastomallin yläpinnasta.
Akselinlaskijat	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään ympyrä-symboli. Sijaintitieto rata-/maastomallin yläpinnasta.
Vaihteen kääntölaitteet	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään laatikkomainen tilavaraus. Sijaintitieto laitteen keskeltä, rata-/maastomallin yläpinnasta.
Painikkeiden tai avainsalpalaitteiden kotelot	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään valmis 3D-objekti. Sijaintitieto kotelon jalan keskeltä rata-/maastomallin yläpinnasta.
Raiteensulut	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään valmis 3D-objekti. Sijaintitieto elementin keskeltä rata-/maastomallin yläpinnasta.
Tasoristeyslaitteet	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään karkea tilavaraus. Sijaintitieto elementin keskeltä rata-/maastomallin yläpinnasta.

Taulukko 4. Sähköratajärjestelmän osien mallinnustapa

Rakennusosa	Mallinnustapa
Sähköratapylväät	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään valmis 3D-objekti. Sijaintitieto pylvään keskipisteestä, perustuksen yläpinnasta.
Pylväsperustukset	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään tapauskohtaisesti mallinnettava 3D-objekti. Sijaintitieto perustuksen yläpinnan keskipisteestä.
Sähkörataportaalien osat	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään valmiista pylväs- ja portaaliobjekteista muodostettu 3D-objekti. Sijaintitieto pylvään keskikohdasta, perustuksen yläpinnasta.
Harukset	Geometria taiteviivana (x,y,z) kiinnityspisteiden välillä.
Ajolangat ja johtimet	Geometria taiteviivana (x,y,z) kiinnityspisteiden välillä. Mahdollisesti tilavarauus. Erotusjaksot esim. eri väreillä ratajohtoon.
Kääntöorret	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään valmis 3D-objekti. Sijaintitieto kääntöorren kiinnityspisteestä pylväseen/portaaliin.
Maadoitukset	Sijaintitieto pistetietona (x,y,z) tai taiteviivana (x,y,z) maadoituksen tyypistä riippuen.
Syöttöasemat	Tila-/aluevaraus
Muuntajat	Pistemäinen sijaintitieto (x,y,z), johon liitetään valmis 3D-objekti. Sijaintitieto joko muuntajan kiinnityspisteestä pylväseen tai rata-/maastomallin yläpinnasta.

5.2.3 Attribuuttitiedot

Tietomallintamisella pyritään kohteen kolmiulotteisen havainnollistamisen lisäksi myös tehostettuun tiedonhallintaan, vaikka tällä hetkellä tietomallintamisen tavoitteet liittyvätkin keskeisesti kohteen kolmiulotteiseen kuvaamiseen ja sen avulla rakennettavuuden varmistamiseen. Tietomallintamisen tavoitetilanne olisi, että tietomalli sisältäisi kaiken suunnitteluun, rakentamiseen, kunnossapitoon ja omaisuudenhallintaan tarvittavan metatiedon. Näin ollen jo tässä vaiheessa kehitystyötä pyritään sisällyttämään tai ainakin määrittämään rakennusosiin liittyvää metatietoa. Taulukossa 5 on esitetty perustiedot, jotka tulisi sisällyttää ensisijaisesti kaikkiin rakennusosiin.

Taulukko 5. Turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osiin sisällytettävät perustiedot.

Attribuutti	Attribuutin kuvaus
ID	Yksilöivä tunnus
Tyyppi	Tyyppi
Sijainti	Elementin paikkatieto (x,y,z)
Rataosoite	Rataosoitteen mukainen sijainti (rataosuuus km+m)
Status	Mitattu, suunniteltu, poistettava, siirrettävä
Rakennusajankohta	Rakennus- tai asennusajankohta
Linkitetty data	Käyttöohje, tyyppikuva, järjestelmäkuva tms. linkitettyinä

ID:n eli yksilöivän tunnuksen avulla jokainen rakennusosa saadaan yksilöityä. Vaikka osaan ei saisi sisällytettyä muuta tietoa, yksilöivä tunnus tulee sisällyttää, jotta osaan liittyvät tiedot voidaan hakea perinteisistä dokumenteista. Nimikkeistötasolla määritetään, mikä rakennusosa on kyseessä, joten tyyppitieto tarvitaan, jotta rakennusosan tyyppistä saadaan tarkempi tieto. Esimerkiksi opastimen tyyppi voi olla *pääopastin (3 valoa)*, *pääopastin (2 valoa)*, *esiopastin*, *pää+esiopastin (3 valoa)*, *pää+esiopastin (2 valoa)* tai *raideopastin*.

Perustiedoissa on esitetty sijaintitieto kahdella tavalla: koordinaattitietona sekä rataosoitteena. Mallintamisen tavoitteena on esittää sijaintitiedot tarkkoina koordinaattitietoina. Varsinkin rataan liittyvien rakenteiden sijainnit ilmoitetaan perinteisesti rataosoitteen, eli rataosuuden ja kilometripaalutuksen mukaisesti. Kilometripaalutuksen mukaista sijaintia on usein vaikea mitata eikä se ole tarkka. Kilometripaalutus katsotaan pääraiteen mukaisesti, joten sen käyttäminen on ongelmallista sivuraiteiden kohdalla. Se ei myöskään ota kantaa sivusuuntaiseen etäisyyteen radan keskiviivasta. x,y,z-koordinaattitieto on ensisijainen sijaintitieto, mutta rataosoite on hyvä ilmoittaa viitetietona, sillä kaikilla toimijoilla radalla ei ole käytettävissä koordinaattitietoa hyödyntäviä mittalaitteita, jolloin rataosoitteen avulla pystytään paikantamaan kohteen sijainti. x,y,z-sijaintitieto ei ole varsinaisesti erikseen osalle lisättävä attribuuttitieto vaan osan sijaintitieto mallissa. Taulukkoon 5 se on lisätty työpajoissa esitetyn toiveen mukaisesti, jotta kaikille olisi selvää, että jokaisen osan ensisijainen sijaintitieto annetaan x,y,z-koordinaateilla.

Perustiedoissa määritetty status kertoo, onko mallissa oleva rakennusosa olemassa oleva, suunniteltu, poistettava vai siirrettävä kohde. Eri statuksella olevat rakennusosat sisältyvät samaan malliin esimerkiksi yhdistelmämallissa eikä kohteen statukseen oteta kantaa esimerkiksi nimikkeistön avulla, joten kohteen attribuuttitietoihin on tärkeää sisällyttää tilatieto väärinkäsitysten välttämiseksi. Attribuuttitietoihin tulisi sisällyttää myös tieto rakennus- tai asennusajankohdasta, mikäli se on tiedossa.

Yhteisten perustietojen lisäksi työpajoissa pohdittiin, mitä muita attribuuttitietoja osiin tulisi sisällyttää. Taulukossa 6 on esitetty turvalaitteiden attribuuttitiedot ja taulukossa 7 sähköradan. Taulukoissa esitetyt attribuuttitiedot ovat työpajoissa esiin nousseita alustavia pohdintoja, joita tulee täydentää pilotoinnin yhteydessä sekä kehityshankkeen myöhemmissä vaiheissa.

Taulukko 6. Turvalaitemalleihin
liittyviä attribuuttitietoja

Opastimet
Lamppujen tyyppi
Ohjauslinja
Liittyvä raideosuus
Opastinportaalit ja -ulokkeet
Materiaali
Korkeus
Pituus
Orsien määrä
Elementtijako
Korotuspalat
Korkeusero
Opastinportaalien perustukset
Materiaali
Toleranssi
Baliisit
Baliisisanoma
Kaapelireitit ja -kaivot
Asennustyyppi
Kaapelit
Pituus
Turvalaitekaapit ja -kojut
Sisältö
Asetinlaitetilat
Ohjelmistoversio
Rajapinnat
Talotekniset tiedot
Vaihteen kääntölaitteet
Moottorit
Koskettimet
Turvalaitepainike
Liittyvät vaihteet
Tasoristeyslaitteet
Hierarkia
Linkitys laitteisiin

Taulukko 7. Sähköratamalleihin
liittyviä attribuuttitietoja

Sähköratapylväs
Tarkempi tyyppi
Materiaali
Maadoitus
Pylväsperustus
Materiaali
Toleranssi
Sähkörataportaalien osat
Materiaali
Korkeus
Pituus
Orsien määrä
Elementtijako
Korotuspalat
Korkeusero
Harus
Voima
Ajolangat
Turvaetäisyys
Kiristysvoima
Kääntöorsi
Materiaali
Valmistaja
Kiinnitys
Maadoitus
Liittyvä pylväs
Muuntaja
Pylväs
Valmistaja
Malli
Teholuku
Syöttö
Ohjaus

Tiedonsiirtoformaattien rajoitteiden takia tällä hetkellä ei välttämättä ole mahdollista sisällyttää malliin suurta määrää attribuuttitietoja tai ainakaan taata niiden siirtymisen eri ohjelmistojen välillä. Ensisijaisen tärkeää on varmistaa, että tietoa siirrettäessä kohde kuvautuu oikealla tavalla oikeassa sijainnissa sekä mukana siirtyy tieto yksilöivästä tunnuksesta ja rakennusosan tyypistä. Tiedonsiirtoformaattien kehittyessä myös attribuuttitietoja voidaan sisällyttää laajemmin malliin. Tällöin tulisi määrittää myös suunnittelun ja rakentamisen jälkeiset attribuuttitiedot, joita tarvitaan esimerkiksi kunnossapidon tarpeisiin. Tietomallintamisella pyritään tietojen koneluettavuuteen. Tämän takia attribuuttikenttiin tulisi määrittää vakioarvot niiltä osin, kun se on mahdollista. Tämä tehostaa tietojenkäsittelyä, kun mallista pystytään hakemaan ja suodattamaan automaattisesti tietoja vakioarvojen perusteella.

5.3 Nimikkeistö

Turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osille ei ole määritetty selkeitä nimeämis- ja numerointikäytäntöjä InfraBIM-nimikkeistössä (bSF 2017c). InfraBIM-nimikkeistö sisältää päällysrakenteen osalta erillisen *Ratojen päällysrakenteet* -ryhmän, johon kuuluu rakennekerrosten lisäksi muun muassa ratapölkkyt, kiskot ja muut kiskorakenteet, vaihteet sekä tasoristeyselementit, mutta kyseisessä ryhmässä ei ole määritetty järjestelmiä. Nimikkeistö sisältää myös tunnuksen *338100 Radan sähkön- ja tiedonsiirtorakenteet*, jota ei ole kuitenkaan tarkennettu. Lisäksi InfraBIM-nimikkeistö sisältää esimerkiksi *Turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät* sekä *Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät* -nimikkeistöryhmät, joiden alta löytyy tunnuksia yleisesti opastusjärjestelmien ja sähköjärjestelmien osille, muun muassa liikennevaloille ja valo-opasteille, kaapelirakenteille, laitetoille ja kokuille sekä pylväille ja portaaleille. Turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osille voisi käyttää jossain määrin jo kyseisiä olemassa olevia tunnuksia, ja näin onkin joissain hankkeissa tehty.

Uusien nimikkeistöryhmien luomiseen turvalaite- ja sähköratajärjestelmille ei ole selkeitä suuntaviivoja, sillä Infra 2015 -nimikkeistöjärjestelmä, johon InfraBIM-nimikkeistö perustuu, ei sisällä näitä järjestelmiä edellä mainittua radan sähkön- ja tiedonsiirtorakenteita lukuun ottamatta. Kyseisen tunnuksen alle on luotu tarkentavia lisäerittelyjä muun muassa radan maakaapeleille, ilmajohdoille, maadoituksille ja muuntajille (Rakennustietosäätiö 2015). Infra-nimikkeistöjärjestelmän vanhemmassa versiossa on ryhmässä *3377 Muut järjestelmät* taulukon 8 mukaisesti tarkennettu radan turvalaitteita ja sähkörataa (Rakennustietosäätiö 2006). Kuten taulukosta voi huomata, tarkennus on kuitenkin aika suppea. Esimerkiksi ratasähköistystä ei ole eritelty tarkemmin. Infra 2015 -versiosta kyseinen osuus on poistettu ja lisätty maininta, että järjestelmien ohjeellinen osittelu on esitetty erillisessä julkaisussa (Rakennustietosäätiö 2015). Radan järjestelmien erillistä julkaisua ei kuitenkaan ollut saatavissa tämän diplomityön aikaan.

Taulukko 8. Rautatieliikenteen järjestelmät Infra 2006 -rakennusosanimikkeistössä (Rakennustietosäätiö 2006).

3377.2	Rautatieliikenteen järjestelmät
3377.21	Opastimet
3377.22	Vaihteiden turvalaitteet
3377.23	Raiteen vapaana olon valvontalaitteet
3377.24	Radan liikenteenohjauslaitteet
3377.25	Kulunvalvontalaitteet
3377.26	Tasoristeys ja muut turvalaitteet
3377.27	Kuumakäynti-ilmaisimet
3377.28	Ratasähköistys

Työpajoissa esitettyjen kommenttien pohjalta muodostui muutama erilainen vaihtoehto turvalaite- ja sähköratajärjestelmien mallinnusnimikkeistölle. Vaihtoehtojen suurpiirteinen rakenne on esitetty liitteessä 2.

Liitteessä 2 esitetyssä ensimmäisessä vaihtoehdossa turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osien nimeämiseen on käytetty olemassa olevaa InfraBIM-nimikkeistöä. Osien nimeämiseen on käytetty pääasiassa *Turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät* sekä *Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät* -ryhmien tunnuksia. Joillekin osille, kuten kulunvalvonnan ja vapaanaolon valvonnan laitteille ei löydetty mitään sopivia tunnuksia. Jos tämä vaihtoehto otettaisiin käyttöön, tulisi puuttuville osille luoda uudet tunnuukset tai käyttää yleisluontoisia tunnuksia kuten 3290000 *Muut turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät*. Olemassa olevien tunnusten käyttäminen on helppo ja yksinkertainen ratkaisu tilanteeseen, mutta nimeämiskäytäntö ei ole välttämättä kovin kuvaava ja saattaa aiheuttaa väärinkäsityksiä. Lisäksi tunnuukset ovat hajallaan eri nimikkeistöryhmien alla, mikä vaikeuttaa mallintajan työtä. Kyseistä vaihtoehtoa voisi tarkentaa luomalla olemassa olevien tunnusten alle tarkentavat tunnuukset turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osille, esimerkiksi 326200 *Liikennevalot ja valo-opasteet* -tunnuksen alle luodaan tarkentava tunnus 326210 *Rautatieopastimet*. Tätä tapaa on havainnollistettu liitteen 2 toisessa vaihtoehdossa. Näin nimeämiskäytännöstä saadaan kuvaa, mutta tunnuukset ovat edelleen hajallaan eri nimikkeistöryhmien alla.

Turvalaite- ja sähköratajärjestelmät ovat spesifisiä järjestelmiä, joten olisi selkeää, että järjestelmille olisi omat nimikkeistöryhmänsä. Kolmannessa nimikkeistövaihtoehdossa turvalaite- ja sähköratajärjestelmille luotiin kokonaan omat nimikkeistöryhmänsä noudattaen kuitenkin nykyisten InfraBIM-nimikkeistön rakennetta. Turvalaitejärjestelmälle luotiin oma ryhmänsä 329100 *Rautatien turvalaitejärjestelmä* olemassa olevan 329000 *Muut turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät* -ryhmän alle. Sähköratajärjestelmälle luotiin oma ryhmänsä 339000 *Sähköratajärjestelmä* olemassa olevan *Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät* -ryhmän alle. Vaikka 3291- ja 3390-alkuiset tunnuukset ovatkin mielivaltaisesti määritettyjä, nimikkeistön perusrakenne noudattaa Infra 2015 -nimikkeistöä eikä kyseisten tunnusten alla ole nimikkeistöjärjestelmässä muita rakennusosia.

Edellä esitettyjen nimikkeistönvaihtoehtojen lisäksi työpajoissa nousi esiin vaihtoehto, jossa InfraBIM-nimikkeistö ja Liikenneviraston mittausohjeen kooditus olisi linkitetty toisiinsa luomalla kokonaan uusi nimikkeistöryhmä turvalaite- ja sähköratajärjestelmille. Tunnusten kolme tai neljä viimeistä numeroa vastaisi mittausohjeen kooditusta. Tämä vaihtoehto kuitenkin hylättiin, sillä ei koettu tarpeelliseksi linkittää ohjeita toisiinsa, vaikkakin niiden suhde tulee huomioida.

Vaihtoehto, jossa luotiin omat nimikkeistöryhmänsä järjestelmille nykyisen nimikkeistön puitteissa, sai eniten kannatusta asiantuntijaryhmän keskuudessa. Näin ollen kyseistä vaihtoehtoa esitetään InfraBIM-nimikkeistöä hallinnoivalle taholle mahdolliseksi tavaksi laajentaa nimikkeistöä. Mikäli vaihtoehto koetaan hyväksi tavaksi laajentaa nimikkeistöä, kyseisen vaihtoehdon käyttöä lähdetään pilotoimaan pilottiprojekteissa, joiden pohjalta nimikkeistöä tullaan mahdollisesti täydentämään.

Nimikkeistön tarkkuustaso pyrittiin pitämään yleisluontoisena ja rakennusosan tarkempi määrittely tulisi tehdä attribuuttitiedoissa. Esimerkiksi sähköratapylväiden nimikkeistötunnuksena on sähköratapylväs ja attribuuttitietona annetaan pylvään tarkempi tyyppi. Koska nimikkeistön tasolla ei määritetä rakennusosien tarkempia ominaisuustietoja, tulisi nimikkeistön yhteydessä esittää jokaiseen rakennusosaan sisällytettävät attribuuttitiedot, joissa määritetään rakennusosan tarkemmat tiedot.

Tämän työn aikana huomattiin samoja ongelmia nimikkeistön soveltuvuudessa mallintamiseen kuin mitä luvussa 3.6 esitettiin Saarnikon (2016) diplomityön pohjalta. Infra-alalla on käytössä useita erilaisia nimikkeistö- ja koodausohjeita, kuten Infra-rakennusosanimikkeistö, InfraBIM-nimikkeistö, tie- ja ratahankkeiden maastotietojen mittausohjeen kooditus sekä CAD-suunnitelmapiirustusten tasojako-ohje. Erilaisten tunnusten ja koodien käyttäminen eri tilanteissa aiheuttaa epäselvyyttä. Lisäksi kyseiset nimikkeistöt ja kooditusohjeet ovat puutteellisia eivätkä tue koko elinkaaren aikaista tietomallipohjaista tiedonhallintaa.

5.4 Tiedonsiirtoformaatti

Tietomallintamisessa käytetyt avoimet tiedonsiirtoformaatit IFC ja Inframodel eivät sisällä määrittelyjä turvalaite- ja sähköratajärjestelmien mallintamiseen, joten tähän asti mallien tiedonsiirtoformaattina on käytetty dwg-formaattia. Pitkällä tähtäimellä IFC tulee todennäköisesti olemaan myös Suomessa infra-alalla käytettävä tiedonsiirtoformaatti. Kansainvälisten standardien ja tiedonsiirtoformaattien kehittäminen vie kuitenkin aikaa useita vuosia. Vasta standardoinnin jälkeen kansainväliset ohjelmistotalot alkavat kehittää ohjelmistojaan uuden standardin mukaisiksi, joten kansainvälisen kehitystyön tulosten käyttöönottamiseen tulee menemään pitkään. Ennen kansainvälisten standardien ja ohjelmistojen kehittämistä on määritettävä siihen asti käytettävä tiedonsiirtoformaatti.

Suurin osa olemassa olevista 3D-objekteista on dwg-formaatissa. Joidenkin osien, kuten sähköratapylväiden perustusten, tiedonsiirtoformaattina on käytetty IFC-formaattia. Dwg-formaatti ei ole avoin tiedonsiirtoformaatti, joten pitkällä tähtäimellä sen käyttäminen mallintamisen tiedonsiirtoformaattina ei ole suositeltavaa. Monet suunnittelussa ja tietomallintamisessa käytettävät ohjelmistot tukevat dwg-formaattia, sillä dwg on alan suunnittelussa yleisesti käytetty formaatti. Dwg-formaatissa siirrettyt kohteet kuvautuvat yleensä oikein, joten dwg-formaatin käyttö mahdollistaa mallien sisällyttämisen yhdistelmämalleihin ja näin ollen eri tekniikka-alojen yhteensovituksen,

törmäystarkastelut ja kohteen visualisoinnin. Dwg-formaattia käytettäessä kaiken tiedon siirtyvyyttä eri ohjelmistojen välillä ei kuitenkaan voida taata ja sisällytettävä ominaisuustieto on rajallisempaa verrattuna esimerkiksi IFC-formaattiin.

IFC-tiedonsiirtoformaattia käytetään yleisesti siltojen ja taitorakenteiden tiedonsiirtoon (Liikennevirasto 2014f), vaikka IFC ei sisällä määrittelyjä niitä varten. Siltoja ja taitorakenteita mallinnetaan pääasiassa talo- ja teollisuuspuolen mallintamiseen tarkoitetuilla ohjelmistoilla, jotka tukevat IFC-tiedonsiirtoformaattia. Nämä ohjelmistot soveltuvat myös siltojen ja muiden taitorakenteiden mallintamiseen, jolloin näiden rakenteiden tiedonsiirtoon voidaan käyttää IFC-formaattia. Myös joidenkin turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osien, kuten sähköratapylväiden perustusten, mallintamiseen on käytetty näitä ohjelmistoja, jolloin tiedonsiirtoformaattina on käytetty IFC-formaattia. Näin ollen on pohdittu mahdollisuutta mallintaa muutkin turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osat näillä ohjelmistoilla käyttäen IFC-tiedonsiirtoformaattia jo ennen standardien kehittämistä.

Taitorakenteiden mallintaminen talo- ja teollisuuspuolen mallintamiseen kehitetyillä ohjelmistoilla onnistuu kohtuullisen hyvin. Ohjelmistot mahdollistavat ohjelmistoihin määritettyjen vakioattribuuttitietojen lisäksi myös omien vapaavalintaisten attribuuttitietojen sisällyttämisen osiin. Mallintamiseen liittyy kuitenkin muutamia ongelmakohtia. Koska ohjelmistoja ei ole kehitetty näiden rakenteiden mallintamiseen, ei mal- leja välttämättä luoda täysin samalla tavalla. Eri toimijoilla voi olla erilaisia käytäntöjä ohjelmistojen hyödyntämiseen taitorakenteiden mallintamisessa. Koska tiedonsiirtoon ei ole luotu standardeja, mallien siirtäminen eri toimijoiden ja ohjelmistojen välillä ei ole yksiselitteistä.

Lisäksi rakennusten mallintamiseen tarkoitettujen ohjelmistot asettavat rajoitteita muun muassa koordinaatiston osalta. Työskentelykoordinaatisto on tyypillisesti rajattu kohtuullisen pieneksi, sillä rakennukset mallinnetaan tyypillisesti paikalliskoordinaatistossa ja yksikkönä käytetään millimetriä. Näin ollen pitkänomaisten kohteiden mallintaminen tai referenssitiedostojen vieminen ohjelmistoon ei onnistu välttämättä kovin hyvin. Suunnittelukohteet, joihin turvalaite- ja sähköratajärjestelmiä suunnitellaan, ovat tyypillisesti pitkiä rataosuuksia ja lähtötiedoiksi tarvitaan radan geometriaa.

Haastatteluissa ja työpajoissa nousi esiin myös mahdollisuus turvalaite- ja sähkörata- mallintamisen tiedonsiirtoon LandXML-pohjaisena Inframodel-formaatin avulla. Inframodel-tiedonsiirtoformaattia voisi laajentaa ja määrittää siihen vaaditut turvalaite- ja sähköratarakenteiden osat sekä niiden attribuuttitiedot. Tällöin osien sijaintitiedot määritettäisiin piste- tai viivatietona. Sijaintitietoon tulisi liittää kohteen 3D-kuvautuminen. Tätä mahdollisuutta ei tämän työn puitteissa tutkittu sen tarkemmin, sillä dwg- tai IFC-pohjaisten tiedonsiirto koettiin sopivammaksi vaihtoehdoksi.

Vaaditun tiedonsiirtoformaatin määrittäminen ei ollut tämän diplomityön puitteissa yksiselitteistä, joten tämän työn aikana aloitettiin erillinen tarkempi selvitystyö käytettävästä tiedonsiirtoformaattista. Siihen asti, kunnes selvitystyön tulokset ja mahdolliset jatkotoimenpiteet valmistuvat, tulee tiedonsiirtoformaattina käyttää pääasiassa dwg-formaattia.

5.5 Objektikirjasto

Turvalaite- ja sähköratamallintamisen työkaluksi on luotava 3D-objektikirjasto, joka sisältää vähintäänkin kaikki elementit, jotka tässä työssä on määritetty mallinnettaviksi valmiiden 3D-objektien avulla. Objektikirjaston tulee olla julkinen, jotta kaikki toimijat saavat objektit tarvittaessa käyttöönsä. Objektikirjaston hallinnointiin ja ylläpitämiseen tarvitaan toimija, joka varmistaa objektien olevan vaatimusten mukaisia sekä tarvittaessa ohjeistaa käyttöön. Kirjaston yhteyteen tulisi liittää ohjeistus kirjaston käyttöön ja täydentämiseen.

Tällä hetkellä turvalaite- ja sähköratamallien tiedonsiirtoformaattina käytetään dwg-formaattia, joten objektien tulee olla kirjastossa dwg-muodossa. Dwg-muotoisia 3D-objekteja on luotu aikaisemmin pääasiassa visualisointitarkoituksiin. Näin ollen kaikkien olemassa olevien objektien mitoitus ei vastaa nykyisten mallintamistavoitteiden vaatimaa tarkkuustasoa. Objekteja ei ole luotu kaikista tässä työssä määritetyistä osista, joten objektikirjastoa tulee täydentää.

Objektit tulisi ensisijaisesti luoda tilavuusobjekteina ("*3D Solid*"), jolloin objektit on myöhemmin mahdollista siirtää talonrakennusalalla käytettyihin ohjelmistoihin ja IFC-formaattiin (Davidko 2015). CAD-objekteista tulisi muodostaa blokkeja ("*block*") eli yhtenä kokonaisuutena käsiteltäviä kappaleita. Blokeille tulee määrittää valmiiksi sijoituspiste, jonka avulla objekti saadaan lisättyä malliin haluttuun sijaintiin. Sijoituspisteen tulee vastata luvussa 5.2.2 määritettyjä sijaintipisteitä. Inframallien mittayksikkönä käytetään yleisesti metriä, jota tulee käyttää myös näiden tekniikka-alojen mallien yksikkönä. Yksittäisten objektien mallintaminen tulee kuitenkin suorittaa millimetreinä, sillä talonrakennusalalla käytettyihin ohjelmistoihin siirrettäessä yksikkönä tulee käyttää millimetrejä, jotta mallit eivät vääristy (Davidko 2015). CAD-blokeille tulee määrittää attribuuttikentiksi ("*attributes*") luvussa 5.2.3 määritetyt perustiedot sekä mahdollisesti objektikohtaiset tarketavat metatiedot. Objektien piirtotason nimen tulee vastata määritettyä nimikkeistötunnusta.

Objektikirjastossa tulisi olla vähintään seuraavat objektit mitoitukseltaan ja visuaalisuudeltaan tarkasti:

- Opastimet
 - Pääopastin, kaksi valoyksikköä
 - Pää- ja esiopastinyhdistelmä, pääopastimessa kaksi valoyksikköä
 - Pääopastin, kolme valoyksikköä
 - Pää- ja esiopastinyhdistelmä, pääopastimessa kolme valoyksikköä
 - Esiopastin
 - Raideopastin
- Opastinportaalin osat ja ulokkeet
- Sähköratapylväät
 - I-pylväät, eri pylvästyypit
 - P-pylväät, eri pylvästyypit
 - R-pylväs, eri pylvästyypit
- Sähkörataportaalien osat
 - P-portaalit
 - Kehäportaalit
 - Ulokkeet
- Perustyyppi kääntöorresta
- Raiteensulku
- Turvalaitepainike

Opastimet tulee mallintaa siten, että opastintaulut saa liitettyä sekä opastinmastoihin että -portaaleihin. Edellä mainitut elementit ovat yleisiä perusmalleja. Näin ollen kaikki laitteet ja rakenteet mallinnetaan geneerisinä perusmalleina. Objekteja ei mallinneta valmistajakohtaisina elementteinä. Toteutusvaiheen jälkeen objekteihin liitetään valmistus- ja yksilöintitietoja, mutta kolmiulotteiseen kuvautuminen voidaan toteuttaa jokaisessa vaiheessa objektkirjaston perusmalleilla.

5.6 Tietomallintaminen hankkeen eri vaiheissa

Luvussa 5.2 esitetyt mallinnusvaatimukset koskevat pääasiassa rakentamissuunnitelmavaihetta, jolloin luodaan lopulliset ja yksityiskohtaiset suunnitelmat, joiden perusteella kohde toteutetaan. Tietomallintamisen tavoitteena on kuitenkin kuljettaa ja täydentää tietomallia läpi koko suunnitteluprosessin. Aikaisemmissa suunnitelmavaiheissa tulisi luoda kyseisen suunnitelmavaiheen tarkkuusvaatimuksia palveleva tietomalli, johon lisätään ja tarkennetaan tietoa hankkeen edetessä. Mahdollisimman alkuvaiheessa hanketta tulisi luoda lähtötietomalli, jota myös täydennetään hankkeen edetessä. Tietomallintamista tulisi hyödyntää enemmän myös tietojen arkistoinnissa, rakentamisessa sekä kunnossapidossa ja omaisuudenhallinnassa.

Suunnittelun lähtötiedot

Jokaisessa suunnitteluvaiheessa mallintamisessa tulisi keskittyä entistä enemmän lähtötietojen mallintamiseen. Lähtötietomalli tulisi laatia mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja lähtötietomallia tulisi päivittää koko hankkeen ajan, kuten kuva 14 havainnollistaa. Lähtötietomallin tulisi sisältää kohteen maasto- ja maaperämallit, rakenteiden ja järjestelmien mallit sekä muut temaattiset aineistot, jotka muodostavat kattavan nykytilamallin (bSF 2017a, osa 3).



Kuva 14. *Lähtötietomalli tulisi laatia heti hankkeen alussa ja sitä tulisi päivittää jatkuvasti (bSF 2017a, osa 3)*

Turvalaite- ja sähköratasuunnittelun osalta lähtötiedot ovat usein puutteellisia tai epävarmoja, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia rakentamisvaiheessa, kun kohdetta ei voida toteuttaa suunnitellulla tavalla. Olisikin erittäin tärkeää, että suunnitteluun tarvittavat lähtötiedot kartoitetaan riittävällä tarkkuudella ja data harmonisoidaan mallipohjaiseen muotoon. Yksi merkittävimmistä nykyisellä mallinnusteknologialla saavutettavista hyödyistä on suunniteltujen kohteiden yhteensovittaminen olemassa olevien rakenteiden kanssa. Näin ollen lähtötietomalliin olisi ensisijaisen tärkeää sisällyttää nykyiset rakenteet ja järjestelmät sekä havainnollistaa elementtien sijoittamiseen vaikuttavat maasto- ja maaperätiedot. Erityisen tärkeää on sisällyttää lähtötietomalliin maanlaiset rakenteet, kuten johdot, joiden yhteensovittaminen aiheuttaa usein ongelmia.

Yleis- ja ratasuunnitelmavaiheet

YIV-ohjeen (bSF 2017a, osa 4) mukaan yleissuunnitelmavaiheessa malliin ei sisällytetä turvalaitteita tai sähköratarakenteita muuten kuin mahdollisesti visualisointitarkoituksissa. Ratasuunnitelmavaiheessa sähköratapylväät, merkittävät turvalaitteet sekä niiden jalustat, laitetilat sekä kaapelireitit tulisi YIV-ohjeen mukaan mallintaa kolmiulotteisina kappaleina, joista selviää niiden sijainti ja tilantarve. Tähän mennessä turvalaite- ja sähköratamalleja on tehty pääasiassa rakentamissuunnitelmavaiheissa, jolloin luodaan tarkat ja yksityiskohtaiset suunnitelmat. Jossain hankkeissa, kuten esimerkiksi Luumäki–Imatra-ratahankkeessa, on jo ratasuunnitelmavaiheessa mallinnettu merkittävimpiä osia, kuten opastimia ja turvalaitekaappeja.

Työpajoissa todettiin, että yleissuunnitelmavaihe on liian karkeatasoinen turvalaite- ja sähköratajärjestelmien mallintamiseen. Myöskään muita tekniikka-aloja ei yleensä yleissuunnitelmavaiheessa mallinneta. Ratasuunnitelmavaiheessa usein mallinnetaan jo kattavammin muita tekniikka-aloja. Turvalaite- ja sähköratarakenteiden mallintamisen hyödyt ratasuunnitelmavaiheessa eivät ole välttämättä kovin suuria, sillä tällöin osien suunnitellut sijainnit ovat pääasiassa suuntaa-antavia ja poikkeavat lopullisesta. Toisaalta mallintamalla ainakin merkittävämmän tilavarauksen vaatimia rakenteita voitaisiin mahdollisesti helpottaa esimerkiksi kaavoitusta, mikä on oleellinen asia aikaisemmissa suunnitelmavaiheissa. Mallipohjaisesti toteutetut suunnitelmat parantavat mahdollisesti myös suunnitelmien laatua, mistä on hyötyä myöhemmissä suunnitelmavaiheissa. Esimerkiksi Pisararata-hankkeen ratasuunnitelmavaiheessa hyödynnettiin laajasti tietomallintamista (Mäkeläinen et al. 2017). Myös turvalaite- ja sähköratajärjestelmät mallinnettiin. Mäkeläisen et al. (2017) mukaan ratasuunnitelmavaiheen tietomallintaminen oli ainakin jossain määrin hyödyllistä. Tarkemmat hyödyt voidaan todentaa vasta myöhemmissä vaiheissa.

Työpajoissa esitettiin ratasuunnitteluvaiheessa mallinnettaviksi osiksi ainakin isomman tilavarauksen vaativat rakenteet, kuten laitetilat, kojut, kaapit ja syöttöasemat, mutta tarkempaa määrittelyä aikaisempien suunnitteluvaiheiden mallintamiseen ei tehty. Työpajoissa kuitenkin pohdittiin näiden tekniikka-alojen suunnitteluprosessien päivittämistä, jotta mallipohjaisesta toiminnasta saataisiin enemmän hyötyjä. Jos suunnittelu toteutettaisiin jo yleis- ja ratasuunnitteluvaiheissa tarkemmin ja yksityiskohtaisemmin, mallintamisesta saataisiin todennäköisemmin enemmän hyötyjä muun muassa kohteen rakennettavuuden arvioinnin ja kustannusohjauksen näkökulmasta. Tarkempi suunnittelu aikaisemmissa suunnitteluvaiheissa nostaisi suunnittelun kokonaiskustannuksia, sillä kaikkia yleis- ja ratasuunnitelmavaiheiden hankkeita ei toteuteta koskaan. Suunnittelun suuremmat kustannukset ovat kuitenkin pieniä verrattuna säästöihin, jotka voitaisiin mahdollisesti saada myöhemmissä suunnitteluvaiheissa sekä rakennusvaiheessa.

Tämän työn pohjalta määritettyjä mallinnusvaatimuksia tullaan pilotoimaan ensisijaisesti rakentamissuunnitteluvaiheissa. Pilotoinnista saatujen tulosten sekä muiden hankkeiden kokemusten pohjalta pystytään todennäköisesti määrittämään tarkemmin aikaisempien suunnitteluvaiheiden vaatimukset. Liikenneviraston (2017b) Tie- ja ratahankkeiden inframalliohjeessa on liitteenä inframallien tarkkuusvaatimukset eri suunnitteluvaiheissa. Taulukoissa on määritetty tarkkuusvaatimukset kuvan 15 mukaisilla värikoodeilla sekä kirjainselitteillä P (pakollinen, mallinnetaan aina), H (sovitaan hankkekohtaisesti) ja E (ei mallinneta, ei relevantti).

Värikoodi	Mallinnustarkkuus
	Lähtökohtaisesti ei mallinneta. Voidaan sopia hankekohtaisesti.
	Mallinnetaan osien ulkopinnat. Ei vaadita tilavuusominaisuuksia; 2D-pinta, aluerajaus tai taiteviiva riittää.
	Mallinnetaan osat 3-ulotteisina kappaleina, pintoina, taiteviivoina. Objektien ominaisuuksista kerrotaan vain ko. suunnitteluvaiheessa olennaiset asiat.
	Mallinnetaan täydellinen kuvaus rakenteesta.
	Mallinnus ja sen tarkkuustaso sovitaan hankekohtaisesti.

Kuva 15. *Inframallien tarkkuusvaatimukset -taulukossa käytetyt värikoodit (Liikennevirasto 2017b)*

Tie- ja ratahankkeiden inframalliohjeessa turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osien mallinnustarkkuus on määritetty kuvan 16 mukaisesti. Turvalaite- ja sähköratamallintamisen kehitystyön edetessä tarkkuusvaatimusten taulukkoa tulisi päivittää vaatimuksia vastaavaksi ja mahdollisesti yksityiskohtaisemmaksi.

RO	Suunnitelman osa	Yleis	Tie Rata	Rak	Lisähuomiot
3210	Kaiteet, johteet ja törmäyssuojat	H	P	P	
3220	Aidat, puomit ja portit	H	P	P	
3230	Reunapaalut ja pollarit	H	P	P	
3240	Suoja- ja varoitusrakenteet	H	P	P	
3250	Erityisrakenteet	P	P	P	Esimerkiksi hidasterakenteet
3261	Liikenne- ja opastusmerkit	E	P	P	
3262	Liikennevalot ja valo-opasteet	H	P	P	
3263	Tiimerkinnät	E	P	P	
3264	Opastustaulut	H	P	P	
3290	Muut turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät	E	H	H	
-	Radan merkit	E	H	P	
	Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät				
3310	Sähkön- ja tiedonsiirtorakenteet	P	P	P	
3320	Kaapeleiden putkien ja johtojen suojarakenteet	E	P	P	
3331	Pylväät	E	P	P	
3332	Ilmajohdojen kannatinrakenteet	E	P	P	
3333	Mastot	H	P	P	
3334	Portaalit	E	P	P	
3339	Muut kannatusrakenteet	H	H	H	
3360	Valaistusrakenteet	P	P	P	
3370	Sähkö-, tele- ja konetekniset laitteet	H	P	P	Tie- ja ratasuunnitteluvaiheessa tilavaraukset riittää.
3381	Radan sähkön- ja tiedonsiirtorakenteet	H	P	P	Rakennussuunnitteluvaiheessa sovitaan hankekohtaisesti, mikäli vaaditaan tarkempaa mallinnustarkkuutta.
3384	Raitiotieliikenteen sähkön- ja tiedonsiirtorakenteet	H	P	P	

Kuva 16. *Opastus- ja ohjausjärjestelmien sekä sähkö-, tele- ja koneteknisten järjestelmien mallinnustarkkuus (Liikennevirasto 2017b)*

Rakennusvaihe

Turvalaite- ja sähköratamalleja tulisi hyödyntää enemmän myös kohteen toteutusvaiheessa. Näiden tekniikka-alojen malleja ei juurikaan käytetä apuna rakentamisessa. Nykyään inframallien hyödyntäminen rakennusvaiheessa keskittyy lähinnä työkonetautomaation avulla rakennettaviin rakennekerroksiin. Rakennusvaiheessa turvalaite- ja sähkörataelementit voitaisiin sijoittaa työmaalla suoraan mallista saatujen tarkkojen koordinaattitietojen perusteella. Teknologian kehittyessä työmaalla voitaisiin hyödyntää myös mallien aikataulutusta- ja resursointiominaisuuksia.

Työpajoihin ei valitettavasti saatu mukaan laajemmin turvalaite- ja sähköratarakentamisen toimijoita, mutta kehitystyön edetessä tulisi ottaa myös urakoitsijan edustajia mukaan kehitystyöhön. Näin mallinnusvaatimuksiin saataisi päivitettyä myös työmaan vaatimuksia, ja turvalaite- ja sähköratamallien käyttöä saataisi jalkautettua myös työmaalle.

Rakentamisen toteuma

Rakentamisen jälkeisen toteuman mittaaminen on oleellista, sillä suunnitelmien täydelliseen toteutumiseen ei voida luottaa. Toteumatietojen mittaaminen on osin edelleen puutteellista, vaikka urakkasopimuksiin olisikin sisällytetty vaatimukset mittauksille. Tilaajan tulisikin sisällyttää sopimukseen tarkat vaatimukset toteumamittauksille ja pitää kiinni vaatimuksista. Vaatimusten tulisi sisältää kaikkien toteutuneiden rakennusosien mittaukset vaaditulla tarkkuudella. Mittausten tulisi olla x,y,z-koordinaatistossa, oikeassa formaatissa sekä sisältää vaadittavat metatiedot, joita ovat vähimmillään mitatun kohteen tyyppi, yksilöivä tunnus sekä mittausajankohta. Liikenneviraston tie- ja ratahankkeiden mittausohjetta tulisikin kehittää tietomallintamista tukevaan suuntaan.

Erityisesti maanalaisten rakenteiden ja järjestelmien toteumamittausten suorittaminen rakentamisvaiheessa on oleellista, sillä niitä on vaikea mitata jälkikäteen. Suunnittelun ja kunnossapidon lähtötietojen osalta ongelmana nähdään olemassa olevat maanalaiset rakenteet, joiden sijainneista ei ole aina riittävän tarkkaa tietoa, kun rakenteita ei ole mitattu toteutuksen yhteydessä. Usein varsinkin z-koordinaattitiedot ovat puutteellisia. Esimerkiksi johtotiedot on merkitty pitkään vanhasta tottumuksesta 2D-karttoihin ilman korkotietoja tai virheellisin korkotiedoin.

Toteutusmalli tulisi päivittää toteumamalliksi toteumamittausten perusteella. Jos kohde on toteutettu toteutusmallin perusteella ja toteuma on laatuvaatimusten mukainen, toteutusmallia voidaan pitää toteumamallina. Jos toteuma ei ole vaaditussa tarkkuudessa, tulisi rakennusosat mallintaa mittausten perusteella vastaamaan lopullista toteumaa. Toistaiseksi tiedonsiirtoformaattien rajoitteiden vuoksi toteutusmallia on ainakin joiltakin osin työlästä päivittää toteutuneen mukaiseksi pelkästään mittausten perusteella.

Nykyisen YIV-ohjeen mukaan väylärakenteen toteumamalli koostuu maa-, pohja- ja kalliorakenteista sekä päällyys- ja pintarakenteista. Järjestelmiä ja rakennusteknisiä rakennusosia ei tarvitse YIV-ohjeen mukaan sisällyttää toteumamalliin. Järjestelmien ja muiden rakennusosien sisällyttäminen toteumamalliin olisi kuitenkin ensiarvoisen tärkeää, joten YIV-ohje vaatii tältä osin päivitystä.

Arkistot ja rekisterit

Tietojen arkistointia tulisi päivittää tietomallintamista tukevaan muotoon. Tällä hetkellä on käytössä useita erilaisia rataan liittyviä rekistereitä ja tietovarastoja. Tiedot on arkistoitava mallipohjaista toimintaa tukevassa muodossa, jotta tietoja voidaan hyödyntää tehokkaammin esimerkiksi suunnittelun ja kunnossapidon lähtötietoina. Kun suunnitelma- ja toteumatiedot siirtyvät mallipohjaiseen muotoon, tulisi myös niiden arkistointi toteuttaa mallipohjaisessa muodossa, jotta tietoa ei jouduta päivittämään arkistointia varten yksinkertaisempaan muotoon. Tällöin hukataan arvokasta tietoa, jonka luomiseen on käytetty runsaasti resursseja.

Rataan liittyvät sijaintitiedot ilmoitetaan tyypillisesti rataosoitteen, eli rataosan ja kilometripaalutuksen mukaisesti. Mallipohjaiseen toimintaan siirryttäessä ensisijaisena sijaintitietona tulisi käyttää x,y,z-koordinaattitietoa. Rataosoite olisi kuitenkin hyvä sisällyttää edelleen viitetietona, koska joissain tapauksissa rataosoite on myös erittäin hyödyllinen tieto. Arkistoista ja rekistereistä haettua tietoa tulisi voida käyttää suunnittelun ja kunnossapidon lähtötietoina, joten käyttäjän tulisi voida luottaa, että tieto on ajantasaista ja oikeaa. Myös pienempien urakoiden ja kunnossapitotöiden jälkeen muutokset tulisi mitata ja päivittää tietovarastoihin. Mittausten ja tietojen käsittelyn kustannukset ovat pieniä verrattuna kustannussäästöihin, joita ajantasaiset ja luotettavat lähtötiedot tarjoavat.

Kunnossapito ja omaisuudenhallinta

Jotta turvalaite- ja sähköratajärjestelmien toteumamalleja voitaisi käyttää lähtötietona kunnossapitoon ja omaisuudenhallintaan, tulisi malleihin sisällyttää lisää attribuuttitietoja, kuten toimenpiteiden päivämäärät. Attribuuttitietojen avulla pysytään perillä kunnossapitotoimenpiteistä ja toimenpiteitä pystytään ennakoimaan hakemalla tietoja mallista. Kunnossapitoon tarkoitetut tietomallit voitaisiin esimerkiksi integroida mobiililaitteiden sovelluksiin, jolloin kunnossapitäjä pystyisi työmaalla paikantamaan toimenpiteitä vaativan kohteen ja päivittämään reaaliaikaisesti kohteen tiedot. Omaisuudenhallinnan näkökulmasta rakennusosiin tulisi rakentamisen jälkeen sisällyttää yksilöiviä tietoja, kuten yksilöintitunnukset sekä valmistus- ja materiaalitiedot sekä pitää kirjaa kaikesta muutoshistoriasta, esimerkiksi laitteen uusimisesta. Näin pystytään seuraamaan elinkaarta tarkemmin ja jäljittämään helposti esimerkiksi virheellinen erä laitteita tai materiaaleja.

5.7 Toimintatapojen ja prosessien kehittäminen

Työn aikana nousi vahvasti esille se seikka, että turvalaite- ja sähköratamallintaminen koetaan työläänä ja aikaa vievänä teknologian puutteen takia. Mallintaminen tehdään pitkälti manuaalisesti ilman varsinaisia mallinnusohjelmistoja. Mallipohjaisissa hankkeissa tulee toimittaa kaikki perinteiset dokumentit sekä tietomalli ja siihen liittyvät dokumentit. Suunnitelmapiirustuksia ei saa tuotettua suoraan mallista, jolloin muutokset pitää tehdä erikseen malliin ja dokumentteihin, mikä on työlästä ja lisää virheen mahdollisuutta.

Työpajoissa keskusteltiin eri toimijoiden kanssa siitä, voisiko joitakin turvalaite- ja sähköratasuunnittelussa tuotettavia dokumentteja karsia tai sisältöä muokata tai voiko suunnittelu- ja mallinnustyötä helpottaa nykyisten resurssien puitteissa. Nykyisestä turvalaite- ja sähköratasuunnittelun vaaditusta dokumenttituotannosta ei havaittu dokumentteja, joista voitaisiin nykyisen tietomallin ansiosta luopua tai karsia sisältöä. Työpajoissa kuitenkin nostettiin esille tämän työn pohjalta luotavat mallinnusohjeet ja -vaatimukset sekä valmis ja helppokäyttöinen 3D-objektikirjasto, jotka helpottavat mallinnusprosessia. Lisäksi nostettiin esille eri ohjeiden, kuten radan suunnitteluohjeen ja mittaushyönteiden päivittäminen mallipohjaista toimintaa tukeviksi.

Pääpaino mallintamisen helpottamisessa tulisikin olla tiedonsiirtoformaattien ja ohjelmistojen kehittämisessä. Tiedonsiirtoformaatin tulisi mahdollistaa näiden tekniikka-alojen laajan tietosisällön siirtämisen eri ohjelmistojen ja toimijoiden välillä. Teknologian tulisi huomioida järjestelmäkokonaisuudet ja toiminnallisuudet sekä mahdollistaa dokumenttien tuottaminen suoraan tietomallista. Jo nykytilanteessa muilla tekniikka-aloilla pystytään tuottamaan suoraan tietomallista suunnitelmadokumentteja, esimerkiksi paalukohtaisia poikkileikkauksia, joiden tekeminen manuaalisesti esimerkiksi pitkältä rataosuudelta olisi hyvin työlästä. Nykytilanteessa pystytään myös turvalaite- ja sähköratasuunnitelmien osalta tuottamaan joitakin dokumentteja suunnitteluohjelmistoista, esimerkiksi CAD-kuvasta saadaan tulostettua ryhmiteltyjä luetteloita symboleihin tai objekteihin lisättyjen attribuuttitietojen perusteella. Lisäksi turvalaitejärjestelmän toiminnallisuuden mallintamiseen, kuten monimutkaisiin kulkuteihin ja paikallislupiin, on kehitetty toimintaa helpottavia ohjelmistoja.

Vaikka teknologia ei vielä mahdollista täysin sujuvaa turvalaite- ja sähköratajärjestelmien mallintamista, on tärkeää kehittää suunnitteluprosessia ja toimintatapoja tietomallintamista tukevaan suuntaan jo nyt. Yksi merkittävimmistä kehittämisen kohteista turvalaite- ja sähköratasuunnittelussa on siirtyä suunnitelmien jälkikäteen mallintamisesta mallipohjaiseen suunnitteluun. Mallipohjainen suunnittelu tarkoittaa sitä, että suunnitteluprosessi toteutetaan alusta asti mallien avulla ja malleja käytetään suunnittelutyökaluina koko prosessin ajan. Suunnittelutyössä tulee pyrkiä eroon mallien luomisesta suunnitteluprosessin loppuvaiheessa 2D-suunnitelmien pohjalta. Hankkeen tietomallikoordinaattorin tulee ohjata suunnittelijoita noudattamaan mallipohjaisen suunnittelun periaatteita. Suunnittelun muuttaminen mallipohjaiseksi täytyy ottaa huomioon hankkeiden sopimuksissa, sillä tällaiset uudet toimintatavat vievät enemmän aikaa.

Työn aikana nousi esille, että monesti merkittäviä hidastavia tekijöitä mallipohjaiseen toimintaan siirryttäessä ovat vanhat toimintatavat ja prosessit. Asiat on totuttu tekemään tietyn kaavan mukaan eikä osapuolille ole välttämättä selvää, mihin uusiin toimintatavoilla pyritään. Myös Halttulan et al. (2015) mukaan suurimmat esteet tietomallintamisesta saatavien hyötyjen saavuttamiseen ovat prosesseihin ja organisaatioon sekä muutoksen vastustamiseen liittyvät esteet (katso Halttula 2018). Muita tutkimuksessa tunnistettuja esteitä ovat tietotekniikkaan, tietojen siirrettävyyteen sekä koulutukseen ja osaamiseen liittyvät esteet. Uusien toimintatapojen ja prosessien käyttöönottoaminen edellyttää tehokasta muutosjohtamista. Tietomallintamiseen liittyviä toimintatapoja ja prosesseja tulisi selkeyttää niin projektitasolla kuin yleisestikin esimerkiksi prosessikaavioiden avulla. Näin voidaan esimerkiksi määritellä prosessien tehtävät uudelleen, parantaa tehtävien sujuvuutta, tunnistaa tiedonsiirron käyttötapauksia sekä kartoittaa ongelmia. (Mäkeläinen et al. 2017)

6 Yhteenveto ja jatkotutkimustarpeet

6.1 Yhteenveto

Tämän diplomityön päätavoitteena oli luoda pohja turvalaite- ja sähköratatekniikan tietomallintamisen kehittämiseksi. Työn tavoitteena oli selvittää turvalaite- ja sähköratamallintamisen nykytilannetta Suomessa ja kansainvälisesti sekä luoda suuntaviivat mallinnusvaatimuksille, mallinnusnimikkeistölle, tiedonsiirtoformaatile sekä toimintatapojen kehittämiseksi.

Turvalaite- ja sähköratamallintamisen nykytilanne

Turvalaite- ja sähköratajärjestelmien tietomallintamiseen ei ole kehitetty kansainvälisiä standardeja eikä avoimia tiedonsiirtoformaatteja ole laajennettu näiden tekniikkaalojen mallintamisen tarpeisiin. Kansainvälinen kehitystyö IFC-tiedonsiirtoformaatin laajentamiseksi infra-alalle on käynnistetty. Kehitystyö sisältää myös radan määrittelyt, joten tulevaisuudessa formaatti tulee todennäköisesti kattamaan myös turvalaite- ja sähköratajärjestelmät. Kehitysprosessi on kuitenkin pitkä, joten tulee menemään useita vuosia ennen kuin standardit otetaan käyttöön alalla, ja ohjelmistot kehitetään vastaamaan päivitettyä tiedonsiirtoformaattia.

Suomessa infra-alan mallintamista ohjaavat Yleiset inframallivaatimukset, InfraBIM-nimikkeistö ja Inframodel-tiedonsiirtoformaatti eivät sisällä turvalaite- ja sähköratajärjestelmiä. Näitä tekniikka-aloja on pyritty jossain määrin sisällyttämään malleihin dwg-muotoisten 3D-objektien avulla, mutta toiminta on ollut edelleen pääasiassa dokumenttipohjaista. Mallintaminen ei ole ollut sujuvaa, sillä selkeät mallinnusvaatimukset ja -ohjeet ovat puuttuneet alalta. Lisäksi työkalut ovat olleet puutteellisia ja toimintatavat vanhanaikaisia. Alalla on huomattu selkeä tarve yleisille mallinnusvaatimuksille ja -ohjeille sekä mallinnusteknologian ja toimintatapojen kehittämiseksi.

Mallinnusvaatimukset

Suuntaviivat mallinnusvaatimuksille sekä mallinnusteknologian ja toimintatapojen kehittämiseksi luotiin asiantuntijaryhmän työpajatyöskentelyn pohjalta. Työpajoihin osallistui eri toimijoita turvalaite- ja sähköratatekniikan parista. Työpajoissa määritettiin malliin ensisijaisesti sisällytettävät osat sekä niiden mallinnustapa ja -tarkkuus. Tulokset on esitetty luvussa 5.2.2 taulukossa 3. Vaatimukset määritettiin nykyisiä mallinnustavoitteita tukeviksi pyrkien pitämään työmäärä ja mallin sisältö mahdollisimman kevyenä teknologian rajoitteista johtuen. Nykyiset mallinnustavoitteet keskittyvät kohteen kolmiulotteiseen havainnollistamiseen, mikä mahdollistaa tekniikkaalojen yhteensovituksen ja törmäystarkastelujen tekemiseen sekä kohteen visualisoinnin. Nykyinen mallinnusteknologia ei mahdollista täysin tietomallipohjaista toimintaa ja täydellisen tietomallin luomista. Työssä pyrittiin kuitenkin huomioimaan myös tietomallintamisen mahdollistama tehostettu tiedonhallinta ja ominaisuustietojen sisällyttäminen kohteen kolmiulotteiseen malliin.

Tietomallintamisen tavoitetilanne olisi, että tietomalli sisältäisi kaiken suunnitteluun, rakentamiseen, kunnossapitoon ja omaisuudenhallintaan tarvittavan tiedon. Tiedonsiirtoformaattien rajoitteiden takia tällä hetkellä ei ole välttämättä mahdollista sisällyttää malliin suurta määrää attribuuttitietoja tai ainakaan ei voida taata niiden siirtymistä eri ohjelmistojen välillä. Työssä määritettiin perustiedot, jotka tulisi ensisijaisesti sisällyttää kaikkiin osiin sekä lisäksi rakennusosille määritetyt tarkemmat attribuuttitiedot. Attribuuttitiedot on esitetty luvussa 5.2.3 taulukoissa 5–7.

Nimikkeistö

Infra 2015 -rakennusosanimikkeistöön pohjautuvassa InfraBIM-nimikkeistössä ei ole määritetty selkeitä nimeämis- ja numerointikäytäntöjä turvalaite- ja sähköratajärjestelmille. Turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osille voisi käyttää jossain määrin olemassa olevia yleisiä turvallisuus- ja sähköistysjärjestelmien nimikkeistötunnuksia. Tekniikkalajit ovat kuitenkin niin spesifejä, että niille olisi perusteltua määrittää omat nimikkeistöryhmänsä. Nimikkeistön laajentamiseen luotiin ehdotus, joka on esitetty liitteessä 2.

Työn aikana huomattiin, että infra-alalla on käytössä monia erilaisia nimikkeistö- ja koodausohjeita, mikä aiheuttaa epäselvyyttä. Nimikkeistöt ja koodaukset eivät tue parhaalla mahdollisella tavalla tietomallintamisen tarpeita.

Tiedonsiirtoformaattit

Turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osia on tähän asti mallinnettu pääasiassa 3D-objekteilla, joiden tiedonsiirtoformaattina on ollut dwg. Dwg-formaatti ei ole avoin tiedonsiirtoformaatti, minkä takia se ei sovellu käyttöön pitkällä tähtäimellä. Dwg-formaatti soveltuu kuitenkin turvalaite- ja sähköratamallien tiedonsiirtoon toistaiseksi, sillä se mahdollistaa riittävän tarkasti elementtien kolmiulotteisen kuvautumisen ja jossain määrin ominaisuustietojen sisällyttämisen. Dwg-formaatti on alalla yleisesti käytössä, joten lähes kaikki käytössä olevat tietomallinnusohjelmistot tukevat sitä. Tämän työn pohjalta aloitettiin tarkempi turvalaite- ja sähköratamallien tiedonsiirtoformaattien tutkimus.

Objektikirjasto

Turvalaitteiden ja sähköradan mallintamisen tueksi tulee luoda valmiita 3D-objekteja ja niille tulee luoda julkinen kirjasto, jossa ne ovat kaikkien toimijoiden saatavilla. Tähän mennessä joistakin osista on jo luotu dwg-muotoisia 3D-objekteja. Kaikista vaadittavista osista ei kuitenkaan ole laadittu objekteja, ja jotkut olemassa olevat objektit ovat olleet virheellisiä. Objekteja tulee täydentää tässä työssä esitettyjen vaatimusten mukaisesti. Perustettavalle objektikirjastolle tarvitaan ylläpitäjä, joka varmistaa objektien oikeellisuuden ja saatavuuden sekä tarvittaessa ohjeistaa käyttöön.

Mallintaminen eri suunnitteluvaiheissa

Turvalaite- ja sähköratamallintamisessa tulisi painottaa kattavan lähtötietomallin tärkeyttä. Turvalaite- ja sähköratasuunnittelussa lähtötiedot ovat usein puutteellisia tai epävarmoja, mikä aiheuttaa rakennusvaiheessa muutoksia suunnitelmiin. Nykyisen mallinnusteknologian merkittävimmät hyödyt saavutetaan, kun lähtötietomalliin sisällytetään kaikki olemassa olevat rakenteet ja järjestelmät ja suunniteltava kohde yhteensovitetään niiden kanssa.

Turvalaite- ja sähköratamallintaminen keskittyy rakentamissuunnitelmavaiheeseen, jolloin luodaan tarkat ja yksityiskohtaiset suunnitelmat. Turvalaite- ja sähköratasuunnitelmat ovat aikaisemmissa suunnitelmavaiheissa tyypillisesti niin karkeatasoisia, ettei niiden mallintaminen ole välttämättä kannattavaa. Aikaisempien suunnitteluvaiheiden suunnittelun ja mallintamisen tarkkuustasoa tulisi pohtia tarkemmin kehitystyön edetessä.

Turvalaite- ja sähköratamalleja tulisi hyödyntää enemmän kohteen rakennusvaiheessa, mikä tulisi ottaa huomioon kehitystyön jatkossa. Rakentamisen jälkeisiin toteutamittauksiin tulee panostaa enemmän ja tilaajan tulee vaatia ja varmistaa, että mittaukset suoritetaan vaadittavalla tarkkuudella. Erityisen oleellisia ovat maanalaiset rakenteet. Myös tietojen arkistointia on kehitettävä mallipohjaista toimintaa tukevaan muotoon. Tietomallintamista tulisi hyödyntää myös kunnossapidossa ja omaisuudenhallinnassa. Kunnossapitoa ja omaisuudenhallintaa varten tietomalliin tulisi lisätä näitä palvelevia tietoja, kuten kunnossapitotoimenpiteiden ajankohtia ja elementtien valmistustietoja.

Toimintatapojen ja prosessien kehittäminen

Työssä selvitettiin, voisiko nykyisiä toimintatapoja muuttaa tietomallintamista tukevaan suuntaan. Ensimmäisen tärkeä muutos suunnitteluprosessissa on muuttaa suunnitelmien mallintaminen mallipohjaiseksi suunniteluksi. Tulevaisuudessa tietomalli tulee todennäköisesti korvaamaan ainakin osan perinteisistä piirustuksista, mutta vielä se ei ole mahdollista puutteellisen teknologian takia. Mallintamisprosessin helpottamiseksi tulisikin keskittyä tiedonsiirtoformaattien ja teknologian kehittämiseen. Myös nykyinen ohjeistus, esimerkiksi radan suunnitteluohje ja mittausohje, tulisi päivittää tietomallintamista tukevaan suuntaan sekä tarkastella vanhoja toimintatapoja ja prosesseja. Uusien prosessien ja toimintatapojen sisältö ja merkitys tulee selkeyttää kaikille osapuolille.

Arvio työn onnistumisesta

Työlle määritetyt tavoitteet saavutettiin eli onnistuttiin luomaan pohja turvalaite- ja sähköratamallintamiselle. Työssä saatiin määritettyä turvalaite- ja sähköratamallintamisen parissa toimivien asiantuntijoiden vaatimusten pohjalta malliin ensisijaisesti sisällytettävät rakennusosat ja tiedot sekä tarkasteltua mallintamisen nimikkeistön laajentamista ja tiedonsiirtoformaatteja. Tiedonsiirtoformaatin määrittäminen osoittautui sen verran monimutkaiseksi asiaksi, että tämän työn pohjalta käynnistettiin tarkempi selvitys tiedonsiirtoformaateista. Työssä onnistuttiin määrittämään tarpeet 3D-objektikirjastolle, joka tulee helpottamaan palveluntuottajien työtä. Lisäksi työssä tunnistettiin toimintatapoja ja ohjeistuksia, jotka vaativat päivittämistä mallipohjaiseen toimintaan sekä onnistuttiin määrittämään suuntaviivat kehitystyön jatkamiselle.

Työn tarkoituksena oli käsitellä turvalaite- ja sähköratajärjestelmiä tasavertaisesti. Turvalaitetekniikan asiantuntijat olivat kuitenkin vahvemmin edustettuina työpajoissa ja haastatteluissa. Sähköratatekniikan asiantuntijoita oli vaikeampi saada mukaan työpajoihin tai löytää aikaa haastatteluille, minkä takia sähköratatekniikkaan ei keskitytty tässä työssä yhtä syvällisesti kuin turvalaitetekniikkaan. Tästä huolimatta myös sähköratamallintamiselle saatiin määritettyä mallinnusvaatimukset. Työpajoissa mukana olleet asiantuntijat koostuivat pääasiassa suunnittelijoiden, tilaajan ja ohjelmistokehittäjien edustajista. Mukaan olisi ollut hyvä saada laajemmin myös turvalaite- ja sähköratarakentamisen edustajia. Tämä tulee huomioida kehitystyön jatkossa.

6.2 Jatkotoimenpiteet

Tämä työ oli ensimmäinen osa turvalaite- ja sähköratatekniikan inframallintamisen kehitystyötä. Diplomityön laajuudessa ei pystytty määrittämään kaikkea näiden tekniikka-alojen mallintamiseen liittyviä asioita eikä ratkaisemaan kaikkia ongelmakohtia, mutta tämän työn puitteissa saatiin luotua pohja näiden tekniikka-alojen mallintamiselle sekä selvitettyä tarpeet jatkotoimenpiteille, joiden pohjalta kehitystyötä voidaan jatkaa. Tämän työn pohjalta suositellaan seuraavia jatkotoimenpiteitä:

1. **Mallinnusvaatimusten pilotointi ja tarkempi määrittely.** Tämän työn tulosten pohjalta laaditaan pilotointiohje turvalaite- ja sähköratatekniikan mallintamiseen. Ohjeita ja vaatimuksia pilotoidaan ainakin Pasila–Riihimäki-hankkeessa. Diplomityön aikataulun vuoksi pilotoinnin tuloksia ei ehditä sisällyttää tähän työhön. Pilotoinnin tulosten perusteella vaatimuksia täydennetään ja muokataan. Vaatimusten pohjalta tullaan täydentämään YIV-ohjeistusta.
2. **Nimikkeistö.** Tässä työssä esitetty nimikkeistö sai hyväksynnän alan toimijoiden keskuudessa. Nimikkeistön laajentamisesta tulee kuitenkin keskustella myös nimikkeistöistä vastaavan Rakennustietosäätiön kanssa. Näin ollen tämän työn pohjalta tullaan tekemään Rakennustietosäätiölle ehdotus nimikkeistön laajentamisesta sekä selvitetään heidän aikeensa nimikkeistöjen suhteen.
3. **Tiedonsiirtoformaatti.** Tiedonsiirtoformaatin selvitystyö on käynnistetty diplomityön aikana. Selvityksen valmistuttua tulee tulosten perusteella määrittää käytettävä tiedonsiirtoformaatti.
4. **3D-kirjasto.** Tässä työssä tunnistettujen tarpeiden ja vaatimusten pohjalta tulee luoda julkinen 3D-objektikirjasto mallintamisen tueksi. Objektikirjastolle tulee määrittää ylläpitäjä, joka varmistaa, että kirjasto on vaatimusten mukainen ja toimiva.
5. **Teknologian kehittäminen ja ohjelmistovaatimukset.** Turvalaite- ja sähköratatekniikan mallintaminen vaatii toistaiseksi kohtuullisen paljon manuaalista työtä. Esimerkiksi Norjassa on kehitetty mallipohjaista suunnittelua tukevia lisäosia Novapoint-ohjelmistoon. Myös Suomessa olisi aiheellista selvittää suunnitteluohjelmistojen kehittämismahdollisuuksia, jotka helpottaisivat mallintamista.
6. **Liittyvien ohjeiden päivitys.** Muut turvalaite- ja sähköratasuunnitteluun liittyvät ohjeet, kuten Radan suunnitteluohje sekä Tie- ja ratahankkeiden maastomittausohje, tulee päivittää tukemaan mallipohjaista toimintaa.
7. **Prosessien ja toimintatapojen kehittäminen.** Sekä yleisiä että projektikohtaisia toimintatapoja ja prosesseja tulee tarkastella ja päivittää mallipohjaista toimintaa tukeviksi. Uusien prosessien ja toimintatapojen sisältö ja merkitys tulee olla selkeät kaikille osapuolille.
8. **Rakentaminen, kunnossapito ja omaisuudenhallinta.** Tämä työ keskittyi pääasiassa suunnitteluvaiheen mallintamisen kehittämiseen. Merkittävä osa tietomallintamisella saavutettavia hyötyjä kuitenkin saavutetaan rakentamisen, kunnossapidon ja hoidon aikana. Näiden vaiheiden mallintamista tulee kehittää. Tässä työssä määritetyille turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osille on määritettävä tulevaisuudessa myös korjaustoimenpiteet sekä hoitotoimenpiteet. Myös nämä toimenpiteet olisi tavoitteena saada sisällytettyä objekteihin attribuuttitietona.

Lähteet

Autodesk, 2018. What is DWG? Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.1.2018):

<https://www.autodesk.com/products/dwg#>

bSF (buildingSMART Finland), 2017a. Yleiset inframallivaatimukset 2015. Osat 1-12. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 21.12.2017): <http://buildingsmart.fi/yiv/>

bSF (buildingSMART Finland), 2017b. Inframodel-tiedonsiirtoformaatti. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.7.2017): <https://buildingsmart.fi/infrabim/inframodel/>

bSF (buildingSMART Finland), 2017c. InfraBIM-nimikkeistö. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 1.9.2017): <https://buildingsmart.fi/infrabim/infrabim-nimikkeisto/>

bSI (buildingSMART International), 2017a. Technical vision. Saatavissa (viitattu 8.11.2017): <http://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/>

bSI (buildingSMART International), 2017b. IFC Overview Summary. Saatavissa (viitattu 14.8.2017): <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview>

bSI (buildingSMART International), 2017c. IFC Infra Overall Architecture Project, Documentation and Guidelines.

bSI (buildingSMART International), 2017d. Standards Library, Tools & Services. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.8.2017): <http://buildingsmart.org/standards/standards-library-tools-services/>

China Railway BIM Alliance, 2017. Standard for Information Model Data Storage of Electric Power, Traction Power Supply, Communications, and Signaling Railway Engineering

Davidko, V., 2015. Sillan kolmiulotteisen CAD-mallin integrointi Tekla Structures BIM -malliksi. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinöörityö.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K., 2008. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling.

Halttula, H., 2018. Prosessin kehittäminen hyödyntäen tietomalleja sekä Lean-ajattelua yhdessä. Diginfra-koulutuksen luentomateriaali.

Kaaranka, A., 2016. Kokkola–Ylivieska-kaksoisraideprojektilla toteutettu BIM-kysely. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä.

Liikennevirasto, 2012. Varoituslaitosten tekniset toimitusehdot.

Liikennevirasto, 2013. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 5, Sähkörata. Liikenneviraston ohjeita.

Liikennevirasto, 2014a. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 6, Turvalaitteet. Liikenneviraston ohjeita.

Liikennevirasto, 2014b. Rautatieturvalaitteet. Liikenneviraston oppaita.

Liikennevirasto, 2014c. Yhdistelmäopastin - järjestelmämäärittely. Liikenneviraston oppaita.

Liikennevirasto, 2014d. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 10, Junien kulunvalvonta JKV. Liikenneviraston ohjeita.

Liikennevirasto, 2014e. Opastimen käyttösuunnitelma - Opastinportaali.

Liikennevirasto, 2014f. Siltojen tietomalliohje. Liikenneviraston ohjeita.

Liikennevirasto, 2016a. Sivukuormitettujen pylväasperustusten suunnitteluohje. Liikenneviraston ohjeita.

Liikennevirasto, 2016b. Ratahanke Seinäjoki-Oulu, Inframallinnus säästää aikaa ja rahaa. Verkkosivu (video). Saatavissa (viitattu 10.8.2017):
https://www.youtube.com/watch?v=doBU_NIT4JY&feature=youtu.be

Liikennevirasto, 2017a. Rautateiden verkkoselostus 2017. Saatavissa (viitattu 21.7.2017):
http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lv_2015-02_rautateiden_verkkoselostus_2017_web.pdf

Liikennevirasto, 2017b. Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. Liikenneviraston ohjeita.

Liikennevirasto, 2018. Tietomallinnuksen ohjeistus. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.1.2018): <http://www.liikennevirasto.fi/palveluntuottajat/inframallit/tietomalli-ohjeistus>

Lysebo, K., 2016. BIM Success for InterCity Railway, Setting the Standard for Model-Based Delivery. Esitysmateriaali. Autodesk University.

Lysebo, K., 2017. Projektijohtaja, BaneNOR. Sähköpostikeskustelu 9.8.2017.

Mäkelä, J., 2014. Tietomallinnuksen hyödyntäminen rautatieturvalaitteiden rakentamisprosessin eri vaiheissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Mäkeläinen, T., Rekola, M., Hyvärinen, J., Vainio, T., 2017. Pissararata-hankkeen tietomallintamisen tilaajaohjaus ratasuunnitteluvaiheessa. VTT.

Perttula, T., 2017. InfraRoom running and upcoming projects and WG. Esitysmateriaali 9.6.2017.

PRE InfraBIM Inframodel-ryhmä, 2013. Inframodel-käyttöönotto-ohje versio 1.0.

Rakennustietosäätö, 2006. Infra 2006, Rakennusosa- ja hankenimistö, määrämittämisohje.

Rakennustietosäätö, 2015. Infra 2015, Rakennusosa- ja hankenimistö, määrämittämisohje.

Rakennustietosäätö, 2018. InfraBIM. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 2.1.2018): <http://www.rts.fi/infrabim>

Ratahallintokeskus, 2008. Radan suunnitteluohje. Ratahallintokeskuksen julkaisuja B 20.

Rautoja, P., 2012. Sähköradan suunnittelu ja rakentaminen. Tampereen teknillinen yliopisto. Rautatiesuunnittelun erikoisopintojakson (RASU) luentomateriaali.

Saarnikko, J., 2016. Infraomaisuuden hallinnan nimikkeistö. Aalto-yliopisto. Diplomityö.

Serén, K., 2013. Lyhyt sanasto - Infrarakentamisen tietomallintaminen V. 0.4.

Tourunen, E., 2016. Tietomallintaminen, suunnittelun kipupisteet. Esitysmateriaali 25.10.2017.

Vinter, M., 2017. Tietomallinnuksen hyödyntäminen siltojen ylläpidossa. Aalto-yliopisto. Diplomityö.

Zhao, F., 2017. Development of IFC Railway in China. Esitysmateriaali 8.5.2017.

Eveliina Pulkkinen

Turvalaite- ja sähköratatekniikan inframallintamisen kehittäminen

ENSIMMÄINEN TYÖPAJA

Aika: ke 23.8.2017 klo 13-15

Paikka: Neuvotteluhuone Atlantti (4. krs)
WSP Finland
Heikkiläntie 7, 00210 Helsinki

Osallistujat: Petri Louhi, Civilpoint
Juha Kansonen, Liikennevirasto
Pekka Rautoja, Liikennevirasto
Tarmo Savolainen, Liikennevirasto
Anssi Krooks, Proxion
Markku Maijala, Ramboll
Joni Mäkelä, Ramboll
Kenneth Strandberg, Ratatek
Jarmo Alho, VR Track
Jenni Alho, VR Track
Jyrki Saarro, VR Track
Eveliina Pulkkinen, WSP
Teppo Rauhala, WSP
Annemari Kaaranka, Welado

1. TILAISUUDEN AVAUS

- Tarmo Savolainen avasi tilaisuuden klo 13.00.
- Tarmo Savolainen esitteli Liikenneviraston näkökulmia digitalisaatioon.

2. TYÖN TAUSTA

- Teppo Rauhala ja Eveliina Pulkkinen esittelivät turvalaite- ja sähköratatekniikan inframallintamisen kehitystyön taustat ja työn etenemisen.

3 . TYÖPAJOJEN KÄYTÄNNÖT

- Käytiin läpi työpajojen toimintatavat, kustannukset ja aikataulut.
 - Päätettiin yhteisesti, että käsitellään turvalaitteita ja sähkörataa jatkossa samassa työpajassa.
- Sovittiin seuraavien työpajojen ajankohdat
 - Syyskuu: 20.9. klo 12-16
 - Lokakuu: 25.10. klo 9-11.30 ja klo 12.30-15.30 pilottipäivän työpaja
 - Marraskuu: 22.11. klo 12-16
 - Joulukuu: 13.12. klo 12-16
 - Tammikuu: 17.1. klo 12-16
- Työpajoista laitetaan kalenterikutsut.
- Työpajat pidetään Liikenneviraston tiloissa Pasilassa.
- Jatkossa ennakkomateriaali työpajoja varten toimitetaan etukäteen osallistujille.

4 . RYHMÄTYÖSKENTELEY

- Keskusteltiin pienryhmissä seuraavista aiheista:
 - Turvalaite- ja sähköratatekniikan inframallintamisen kipupisteet
 - Turvalaite- ja sähköratatekniikan inframallintamisen tulevaisuuden näkymät
 - Turvalaite- ja sähköratatekniikan inframallintamisen vähimmäisvaatimukset tilaajan näkökulmasta

5 . YHTEENVETO

- Ryhmätöiden purkaminen ja yhteenveto
- Yhteenveto ryhmätöistä:
 - Turvalaite- ja sähköratatekniikan suunnittelua ei pystytä vielä toteuttamaan sujuvasti mallipohjaisena vaatimusten, ohjeistuksen ja objektikirjastojen puutteen takia. Vaaditut suunnitelmat ja niiden toimitustapa eivät tue mallipohjasta suunnittelua.
 - Tulevaisuudessa mallipohjaisella suunnittelulla pystytään tehostamaan toimintaa. Ideaalitilanteessa tietomallinnus helpottaa toimintaa ja tiedonhallintaa koko elinkaarajan. Tietomallinnusta tulisi hyödyntää myös rekistereissä ja tiedon arkistoinnissa.
 - Kehitystyötä on vietävä eteenpäin selkeillä askelilla. Perusasioiden oltava kunnossa.

- Tarvelähtöistä työtä. On mietittävä hyötyjen ja kustannusten suhdetta.
- Avointa toimintaa.
- Tavoitteena on luoda yhteiset ja järkevät määrittelyt, myös kansainvälisesti yhtenäiset. Kaikilla toimijoilla on oltava mahdollisuus tietomallintamiseen.
- Tilaajan vaatimukset on päivitettävä mallipohjaisiksi.
- Tiedonsiirtoformaatin on oltava avoin. Tietoa pitää voida hyödyntää ohjelmistosta ja toimijasta riippumatta.

6. TILAISUUDEN PÄÄTTÄMINEN

- Tilaisuus päätettiin noin klo 14.45

Eveliina Pulkkinen

Turvalaite- ja sähköratatekniikan inframallintamisen kehittäminen

TOINEN TYÖPAJA

- Aika:** ke 20.9.2017 klo 12-15.30
- Paikka:** Liikennevirasto, Pasila
Neuvotteluhuone Satama (2. krs)
- Osallistujat:** Petri Louhi, Civilpoint
Juha Kansonen, Liikennevirasto
Anssi Krooks, Proxion
Markku Maijala, Ramboll
Joni Mäkelä, Ramboll
Kenneth Strandberg, Ratatek
Kristian Uusitalo, Rejlers
Jarmo Alho, VR Track
Mia Leppänen, VR Track
Marion Schenkwein, VR Track
Eveliina Pulkkinen, WSP
Teppo Rauhala, WSP

1. TILAISUUDEN AVAUS

- Teppo Rauhala avasi tilaisuuden klo 12
- Eveliina Pulkkinen laatii muistion

2. EDELLISEN TYÖPAJAN MUISTIO

- Edellisen työpajan muistio käytiin läpi

3. RYHMÄTYÖSKENTELY

- Ryhmätyöskentely kahdessa työpisteessä, joissa pohdittiin mallin sisältöä:
 1. Laajuus
 2. Tarkkuus

4. RYHMÄTYÖN TULOKSET: MALLIN LAAJUUS

- Pohdittiin turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osia, jotka olisi hyvä sisällyttää malliin.
- Anssi Krooks esitteli turvalaitteiden osalta käsitemallin (esitetty kuvassa Tarkkuus1.jpg). Turvalaitteiden osalta laitteiden väliset yhteydet ovat merkittävässä roolissa. Todettiin, ettei laitteiden välisiä yhteyksiä saa vielä välttämättä sisällytettyä tietomalliin.
- Malliin sisällytettävät osat luokiteltiin tärkeysjärjestykseen (1-3):

Turvalaitteet

1. Ensisijaisen tärkeit:

- Kaapelireitit: kourut, alitukset, kaivot, kytkentäkaivot
- Opastimet: pää, esi, raide, portaalit, perustukset
- Turvalaitekaapit ja relekojut

2. Toissijaisen tärkeit:

- Vapaanaolon valvonta: baliisi, jkv, akselinlaskenta, raide-eristys
- Merkit
- Vaihteenlämmitys

3. Vähemmän tärkeit:

- Valaistus

Sähkörata

1. Ensisijaisen tärkeit:

- Sähköratapylväät, portaalit, perustukset, kääntöorret, harukset
- Langat: ajojohdin, kannatinlanka, paluujohdin, y-köysi, siksak (korkeus rataan nähden)
 - Todettiin, että kannattavampaa mallintaa systeeminä, jolla on tilavaraus, ”3D-putki”
- Muuntajat: imumuuntaja, erotusmuuntaja, lämmitysmuuntaja
- Maadoitukset

2. Toissijaisen tärkeit:

- Erottimet

- Huomioitava myös muut turvalaitteisiin ja sähkörataan liittyvät osat:
 - vahvavirta
 - vaihteet
- Keskustelussa nousi esiin kysymys ratalaitteiden mittapiirustuksista, joiden perusteella selviäisi myös mitat syvyyssuunnassa. Mittapiirustukset tulisi olla saatavilla mallintamista varten. Juha Kansonen selvittää.

5. RYHMÄTYÖN TULOKSET: MALLIN TARKKUUS

- Pohdittiin mallinnettavien osien visuaalista tarkkuutta, tilavarauksia sekä erilaisten variaatioiden mallintamista. Keskustelussa nousi myös esiin objektien formaatit ja piirustusten tuottaminen 3D-mallista.
- Mallinnuksen tarkkuustasoon vaikuttavia tekijöitä:
 - Yhteensovitus ja törmäystarkastelut
 - Tunnistettavuus
 - Visualisointi yleisötilaisuuksia yms. varten
 - Elinkaaren vaihe
 - Määrälaskenta
 - Mittauksen näkökulma: mallinnuksen pitäisi olla kaikilta osin tarkkaa. Objektit pitäisi mallintaa mittapiirustustarkkuudella.
 - Tiedostokoot: liian tarkka mallinnus kasvattaa tiedostokokoa eikä malli toimi sujuvasti
- Objektikirjastoon yleisimmät perusmallit, erilaisia variaatioita mallinnettava tapauskohtaisesti
- Mallinnuksen tarkkuustasoa pohdittava elementtikohtaisesti
 - Esim. baliiseja ei ole oleellista mallintaa visuaalisesti tarkasti tai oikean kokoisina, tärkeämpää tunnistettavuus ja sijainti
- Tilavaraus
 - Tilavarauksena mallinnettaviin liitettävä vähintäänkin tieto, mikä elementti kyseessä
 - Tilavaraus kattaa koko liiketilan: esimerkiksi ajolangat, joiden sijaintiin vaikuttaa eri tekijät (lämpötila, jännitteet, jääkuormat jne.)
- Tärkeää sisällyttää osiin metatietoja
 - Esim. objektin tyyppi, hankevaihe jne.
- Elementin tyyppi: uusi, nykyinen, poistettava
- Objektien kiinnityspisteet
 - Vrt. Liikenneviraston mittausohjeessa esitetyt elementtien mittauspisteet

- Säilyttävä koko elinkaaren ajan
- Kiinnityspisteiden avulla pystytään vertaamaan työmaalla mitattuun toteumaan
- 3D-objektien mittayksiköt: millit vai metrit?
- Pohdittiin, missä formaatissa objekteja lähdetään nyt kehittämään: dwg/IFC?
 - IFC-formaatin laajentaminen IFC Rail kehitystyössä?
 - dwg-formaatissa pohdittava objektien muotoa (face/solid) sekä tasojako-ohjeen päivittystä
- Mallien ja piirustusten yhteensovitus:
 - Perinteisistä piirustuksista ei päästä vielä pitkään aikaan kokonaan eroon, mutta olisi tärkeää saada piirustukset suoraan mallista
 - 3D-objektien ja 2D-symbolien suhdetta mietittävä. Olisiko mahdollista kääntää 3D-malli suoraan 2D-tasoon?
 - Objektien skaalautuvuus

6. SEURAAVA TYÖPAJA

- Seuraava työpaja järjestetään 25.10. klo 9-11.30 Liikennevirastossa, nh Pysäkki
- Seuraavan työpajan aihe muotoutui tämän työpajan pohjalta:
 - Otetaan tarkasteluun malliin sisällytettävät ensisijaisen tärkeät osat ja mietitään niiden mallintamisen tarkkuutta sekä sisällytettävää metatietoa
- Ennen seuraavaa työpajaa tulossa etukäteismateriaalia, johon toivotaan tutustuttavan
- Lisäksi 25.10. klo 12.30-15.30 järjestetään Liikenneviraston pilottipäivän työpaja, jossa esitellään Liikenneviraston digihankkeita

7. TILAISUUDEN PÄÄTTÄMINEN

- Tilaisuus päätettiin noin klo 15.15

Eveliina Pulkkinen

Turvalaite- ja sähköratatekniikan inframallintamisen kehittäminen

KOLMAS TYÖPAJA

Aika: ke 25.10.2017 klo 9.00-11.30

Paikka: Liikennevirasto, Pasila
Neuvotteluhuone Pysäkki

Osallistujat: Tuomo Palomaa, BIMOne
Petri Louhi, Civilpoint
Juha Kansonen, Liikennevirasto
Maria Torttila, Liikennevirasto
Anssi Krooks, Proxion
Tuukka Penttinen, Proxion
Mika Sikanen, Proxion
Markku Maijala, Ramboll
Joni Mäkelä, Ramboll
Kristian Uusitalo, Rejlers
Jenni Alho, VR Track
Mia Leppänen, VR Track
Laura Saarlo, VR Track
Marion Schenkwein, VR Track
Annemari Kaaranka, Welado
Eveliina Pulkkinen, WSP
Teppo Rauhala, WSP

1. TILAISUUDEN AVAUS

- Tilaisuus avattiin klo 9

2. EDELLINEN TYÖPAJA

- Edellisen työpajan muistio käytiin läpi
 - Muistioon lisättiin kommentti mittausperustan säilymisestä samana koko elinkaaren ajan

- Tarkasteltiin edellisessä työpajassa määritettyä mallin sisältöä ja todettiin, että sisältöä on täydennettävä. Täydennetty sisältö esitetty liitteessä 1.

3. RYHMÄTYÖSKENTELY

- Ryhmätyöskentelyn aiheet
 1. Mallintamistapa ja -tarkkuus
 - Mistä osista voi tehdä valmiit objektit objekti kirjastoon, mitkä osat pitää mallintaa tapauskohtaisesti?
 - Osien visuaalinen tarkkuus: mitkä osat pitää mallintaa visuaalisesti tarkasti, mihin osiin riittää vain tilavaraus tai tieto elementin sijainnista?
 2. Osiin sisällytettävä tieto
 - Mitä tietoja sisällytetään turvalaite- ja sähköratamallien osiin?
 - Mallin sisältö elinkaarta palvelevaksi
 - Luokittelu: ensisijaisen tärkeit, vähemmän tärkeit

4. YHTEENVETO

- Liitteessä 1 on esitetty taulukoituna ryhmätyöskentelyn tulokset.

5. SEURAAVA TYÖPAJA

- Seuraava työpaja pidetään 22.11. klo 12-16 Liikennevirastossa Pasilassa, nh Silta
- Seuraavan työpajan aiheena mallinnettavien osien geometria ja nimikkeistö sekä piirustustuotannon ja mallintamisen yhteensovittaminen

6. TILAISUUDEN PÄÄTTÄMINEN

- Tilaisuus päätetään noin klo 11.30

1. Mallintamistapa- ja tarkkuus:**Sähkörata**

Sähköratapylväät - Jokaisesta tyypistä valmiit objektit - Tarkka mallinnus	Pylväiden perustukset - Valmiit objektit tyyppiperustuksista - Erikoisperustukset tapauskohtaisesti	Portaalit - Valmiit objektit vakiokokoisista osista -> osien yhdistely
Langat ja kääntöorret - Kaikki langat yhtenä systeeminä, jolla tilavaraukset: kaikkien lankojen ja kääntöorsien vaatimat tilavaraukset, "3D-putki" - Putki jaetaan erotusjaksoihin ja merkataan näkyviin esim. väreillä	Harukset - Taiteviiva	Maadoitukset - Pistemäinen - Mittauspisteen mukaan
Syöttöasema - Tilavaraukset - Koko tapauksen mukaan	Muuntajat - Tilavaraukset, yksinkertainen laatikko - Eri muuntajat tulisi erottaa selkeästi toisistaan. Riittääkö kaapin kylkeen kirjaimet?	

Turvalliset

Opastimet - Valmiit objektit pää-, esi- ja raideopastimista	Opastinten perustukset - Valmiit objektit tyyppiperustuksista - Erikoisperustukset tapauskohtaisesti	Opastinportaalit ja -ulokkeet - Valmiit objektit vakiokokoisista osista, joita yhdistellään
Kaapelikourut ja kaapelit - Kouru tilanvarauksena - Kourun tyyppipituudet -> tieto montako elementtiä - Jokainen kaapeli mallinnettava	Kaapelikaivot - Tilavaraukset koko kaivosta, ei riitä pelkkä kansi	Turvallisetkaapit - Tilavaraukset: yksinkertainen laatikko
Baliisit - Pistemäinen tieto - Jokin yksinkertainen objekti kuvaamaan - Ulkonäöllä ei väliä, kunhan erottaa ja tunnistaa (esim. laatikko)	Kalustonvalvonta - Kaapit tilanvarauksina: yksinkertainen laatikko - Ratalaitteet pistemäisinä tietoina	Vapaanaolonvalvonta - Pistemäinen tieto - Raide- ja vaihteosuudet sekä junakulkutiet olisi hyvä saada malliin
Raiteensulut - Valmis objekti	Paikallislupapainikekotelo - Valmis objekti	Relekojut - Tilavaraukset: yksinkertainen laatikko
Asetinlaitetila - Tilavaraukset: yksinkertainen laatikko	Läpivientipölkkyt - Pistemäinen tieto - Yksinkertainen objekti kuvaamaan - Jos mallissa muut pölkkyt, läpivientipölkkyt pitää erottua, esim. värin avulla	Vaihteiden varustelu - Vaihteenkääntölaite laatikolla - Liittäminen vaihteen malliin?

2. Sisällytettävä tieto:

Kaikille yhteiset tiedot:
<ul style="list-style-type: none"> - ID (yksilöivä tunnus) - Tyyppi - Sijainti (x,y,z) - Sijainti km+m - Rakennusajankohta - Status - Linkki: käyttöohje, tyyppikuva tms.

Sähkörata

Sähköratapylväät	Pylväiden perustukset	Portaalit
<ul style="list-style-type: none"> - Valmistusajankohta - Materiaali - Pylväsmaadoitus - Rataosoite - Pylväs/portaalikortit arkistossa? 	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaali - Perustamistapa - Toleranssi - Mittaus: kulmat, yp-korko 	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaali - Korko - Pituus - Elementtijako - Erikoispalat - Orsien määrä -Valmistaja
Langat ja kääntöorret	Kääntöorret	Harukset
<ul style="list-style-type: none"> - Tilavaraus - Kiristysvoima - Varoetäisyys jännitteellisiin osiin 	<ul style="list-style-type: none"> - Veto/puristus - Valmistaja - Materiaali - Kiinnitys kääntöorreen 	<ul style="list-style-type: none"> - Voima - Sijainti
Muuntajat	Maadoitukset	
<ul style="list-style-type: none"> -Pylväs, jossa sijaitsee - Malli - Teholuku - Valmistaja - Mihin syöttää - Mistä ohjataan 	<ul style="list-style-type: none"> - Järjestelmäkuva - Liittyvä pylväs - Huom! <p>Potentiaalimittauspisteet -> Mihin, kuinka?</p>	

Turvalaitteet

Opastimet - Mitä opasteita voi näyttää: tyyppi - Mitä lamppuja + lukumäärä - Ohjauslinja - Liittyvä raideosuus	Pylväiden perustukset - Materiaali - Perustamistapa - Toleranssi - Mittaus: kulmat, yp-korko	Opastinportaalit ja -ulokkeet - Materiaali - Korko - Pituus - Elementtijako - Erikoispatat - Orsien määrä - Valmistaja
Kaapelikourut ja -kaivot - Kaapelikourun kaapelit - Asennustyyppi - Linkki "haravakuvaan" - Kanavan pituus	Turvalaitekaapit - Kytkentäkuvat linkitettyinä	Relekojut - Sisältö - Kytkentäkuvat linkitettyinä
Baliisit - Baliisisanoma	Kalustonvalvonta - Mikä valvontajärjestelmä -> tyyppi	Vapaanaolonvalvonta - Linkitys kuvaan ja käyttöohjeeseen
Raideosuudet - Molemmat päät	Vaiheosuudet - Kaikki päät	Junakulkutiet - Raideosuudet - Ohiajovarat - Sivusuojat - Valvontaehdot
Asetinlaitetila - Ohjelmistoversio - Kytkentäkuva - Asetinlaiterajapinnat - Tilan järjestelmätiedot -> talotekniset tiedot	Läpivientipölkkyt Perustiedot	Vaihteiden varustelu - Moottorit - Koskettimet - Lämmitys
Paikallislupapainikekotelo - Mitä vaihteita ohjaa	Varoituslaitos - Hierarkia - Linkitys laitteisiin	

Eveliina Pulkkinen

Turvalaite- ja sähköratatekniikan inframallintamisen kehittäminen

NELJÄS TYÖPAJA

Aika: ke 22.11.2017 klo 12-16

Paikka: Liikennevirasto, Pasila
Neuvotteluhuone Pysäkki

Osallistujat: Tuomo Palomaa, BIMOne
Petri Louhi, Civilpoint
Juha Kansonen, Liikennevirasto
Riitta Parviainen, Liikennevirasto
Tarmo Savolainen, Liikennevirasto
Maria Torttila, Liikennevirasto
Anssi Krooks, Proxion
Mika Sikanen, Proxion
Joni Mäkelä, Ramboll
Annika Salokangas, Sito
Maunu Tast, Sito
Anssi Honkala, Viakon Infra
Jenni Alho, VR Track
Jussi Heikkilä, VR Track
Mia Leppänen, VR Track
Laura Saarlo, VR Track
Eveliina Pulkkinen, WSP
Teppo Rauhala, WSP

1. TILAISUUDEN AVAUS

- Tilaisuus avattiin klo 12.
- Tilaisuuden alkuun esiteltiin Eltelin tekemää Ainola-Purola-hankkeen sähköratamallia. Sähköratapylväät ja -portaalit on mallinnettu solid-objekteina DWG-formaatissa.
 - Keskusteltiin myös kyseisen hankkeen turvalaiteobjektien mallintamisesta solid-objekteina (Proxion).

2. EDELLINEN TYÖPAJA

- Edellisen työpajan tulokset käytiin pintapuolisesti läpi ja sovittiin, että seuraavassa työpajassa käydään tarkemmin läpi kaikkien työpajojen tulokset. Seuraavassa työpajassa annettujen kommenttien perusteella tuloksia korjataan ja täydennetään.
- Edellisen työpajan tuloksiin kommentoitiin, että Liikenneviraston uuden linjauksen mukaan enää ei ole tyyppiperustuksia vaan perustus on aina mitoitettava ja mallinnettava tapauskohtaisesti.

3. RYHMÄTYÖSKENTELY

- Keskustelu pienryhmissä: aiheet ja suuntaa antavia kysymyksiä

1. Nimikkeistö ja geometria

- Olemassa oleva nimikkeistö vai uusien nimikkeiden määrittäminen?
- Nimikkeistön tarkkuustaso? Mikä tieto nimikkeistössä, mikä attribuuttitietona?
- Mittausohjeen mukaiset geometria-/sijaintitiedot?
- Mittausohjeen kooditus vs InfraBIM-nimikkeistön kooditus?
- Nimikkeistön ja koodituksen käyttäminen?
- Mitkä järjestelmien osat samaan mallitiedostoon?

2. Perinteisen dokumenttituotannon ja mallien yhteensovittaminen

- Onko jotain dokumentteja, joista voisi jo nyt luopua tai muokata sisältöä?
- Kuinka tietomallia pitäisi kehittää, jotta voisimme luopua perinteisistä dokumenteista?
- Onko dokumenttituotannolle esimerkiksi jotain lainsäädännöllisiä vaatimuksia?
- Voisiko suunnittelutyötä helpottaa tuottamalla jotkut dokumentit automaattisesti tietomallista?

4. YHTEENVETO TYÖPAJAN TULOKSISTA

Nimikkeistö ja geometria

- InfraBIM-nimikkeistö ei sisällä turvalaite- ja sähköratajärjestelmien osia mutta sisältää tiettyjä litteroituja, joiden alle näiden järjestelmien osia voidaan sisällyttää (esim. yleisesti pylväät)
- Nimikkeistön laajentamisesta nousi erilaisia mielipiteitä:

- Turvalaitteet ja sähköratarakenteet voisi sisällyttää olemassa olevien litteroiden alle niin pitkälti kuin se on mahdollista
 - Mallintamisessa käytettävän nimikkeistön olisi hyvä pohjautua InfraRYL-nimikkeistöön, koska sitä käytetään yleisesti työmaalla.
 - Näiden järjestelmien osien ei ole välttämätöntä olla samassa nimikkeistöryhmässä, kunhan mallinnusohjeeseen on selkeästi määritetty käytettävät litterat. Koneluettavuuden kannalta ei ole väliä, vaikka eivät olisi samassa ryhmässä, se helpottaisi lähinnä vain käyttäjää.
 - Osiin sisällytettävän attribuuttitiedon kannalta ei ole oleellista luoda järjestelmien osille omia spesifisiä litteroituja (ts. saman litteran alle voidaan sisällyttää erilaisia attribuuttitietoja)
 - Ihän kaikille osille ei välttämättä löydy valmiita litteroituja, jolloin niiden osalta saatetaan joutua laajentamaan nimikkeistöä
- Turvalaite- ja sähköratajärjestelmät ovat niin spesifisiä järjestelmiä, että niille tulisi olla omat nimikkeistöryhmänsä
 - Nimikkeistön laajentaminen tarkentamalla olemassa olevia litteroituja kuusi-numeroisen nimikkeistön puitteissa, esim. *338100 Radan sähkön- ja tiedon-siirtorakenteet*
- Nimikkeistöä tulisi laajentaa vastaamaan Liikenneviraston maastomittausohjetta. Nimikkeistön kolme tai neljä viimeistä numeroa vastaisivat mittausohjeen koodausta.
 - Tämä tekisi InfraBIM-nimikkeistöstä ja maastomittauksen koodauksesta yhtenäisemmät
 - Yhtenäisen koodauksen avulla mittaaaja voisi suoraan koodata mittauskoodeille tietyt symbolit (2D tai 3D)
 - Toisaalta mittaaajan tehtävä ei ole luoda malleja vaan tuottaa paikkatietoa, jota sitten seuraava käyttäjä jalostaa haluamaansa suuntaan. InfraBIM-nimikkeistön ja mittausohjeen ei tarvitse välttämättä olla yhtenäiset. Enemmän voisi kehittää softan, joka lukee mittauspisteen tiedot ja muuttaa sen InfraBIM-nimikkeistön mukaiseksi ja määrittää attribuuttitiedot
- Nimikkeistön tarkkuustasosta nousi myös erilaisia mielipiteitä.
 - Työmaalla mitataan ja koodataan Liikenneviraston maastomittausohjeen mukaisesti. Mittausohjeessa on määritetty eri koodit esimerkiksi eri pylvästyypeille. Mittauksen näkökulmasta InfraBIM-nimikkeistön tulisi olla yhtä tarkkaa kuin mittausohjeen kooditus, jotta mitattua tietoa ei mene hukkaan ja mittauspisteen koodituksen perusteella pystyisi hoitamaan suoraan objektin kuvautumisen.

- Toisaalta tiedonhallinnan/koneluettavuuden näkökulmasta nimikkeistön tulisi olla mahdollisimman yleisellä tasolla. Tarkempi määrittely tulisi tehdä attribuuttitiedoissa, esim. nimikkeistön tarkkuustaso olisi yleisesti ”pylväät” ja attribuuttitiedoissa olisi määritetty tarkempi pylvästyyppe. Objektin automaattisen kuvautumisen pystyy hakemaan myös attribuuttitiedoista
- Seuraavaan työpajaan tehdään luonnosversioita eri nimikkeistövaihtoehdoista. Näiden pohjalta päätetään käytettävä nimikkeistö.
- Alalla on useampia erilaisia nimikkeistö- ja koodausohjeita. Edellä mainittujen InfraBIM-nimikkeistön ja mittausohjeen koodituksen lisäksi on mm. tasojaako-ohjeen kooditus.
 - Näiden suhdetta tulisi miettiä.
- Mallinnettavien objektien sijaintitiedot tulee määrittää maastomittausohjeen mukaiseksi. Uusimmassa ohjeessa on hyvin pitkälti määritetty x,y,z-koordinaatit, mutta joistain z-koordinaatti puuttuu. Näiden osien z-koordinaatit tulisi määrittää tarvittavan tiedon perusteella.
 - Mittausohjeeseen tulisi myös jossain vaiheessa päivittää puuttuvat z-koordinaatit. Mittausohjeen seuraavasta päivityksestä ei ole tietoa.
- Nostettiin esille myös poistettavien rakenteiden mallintaminen. Tähän asti poistettavia rakenteita on mallinnettu omiin tiedostoihinsa. Jatkossa rakennusosan attribuuttitiedoksi tulisi määrittää status (nykyinen, suunniteltu, poistettava jne).
- Yhteen mallitiedostoon sisällytettävään tietomäärään vaikuttaa lähinnä tiedostokoot

Perinteisen dokumenttituotannon ja mallien yhteensovittaminen

- Karsittavat/luokiteltavat dokumentit
 - Ei löydetty mitään nykyisiä dokumentteja, joista voisi luopua tai muokata sisältöä, pääpaino dokumenttien tuottamisella suoraan mallista
- Tietomallin kehittäminen
 - Dokumenttien ja mallin yhteensovittamisen helpottamiseksi tulisi ennenkin kehittää tietomallia, jotta dokumentteja voisi tuottaa suoraan mallista -> Kehitystyössä pääpaino tiedonsiirtoformaattiin ja ohjelmistoihin, jotka mahdollistavat tämän
 - Suoraan mallista tuotettavia dokumentteja esim.
 - paalukohtaiset poikkarit
 - semaattiset kartat
 - geometriaan perustuvat dokumentit
 - Esim. 1:1000 turvalaitekuvat ja kaapelireittisuunnitelma
 - ratajohdon sijoitus
 - sähköiset liitännäluettelot
 - portaalikaaviot

- pohjatutkimusohjelmat
- erilaiset luettelot (tyypeittäin)
 - Mallista tuotettaville dokumenteille tulisi laatia ohjeistus/määrittelyt
 - Myös käytettävälle tiedonsiirtoformaatile kuvaus, jotta käyttäjät osaavat tulkita oikein
 - Mahdollistaa mallipohjaisen muutostenhallinnan
 - Tietomallin osille määritettävä sijaintitieto (x,y,z) + suunta
- Tietomallintamisen ohjeistuksen ja toimintatapojen kehittäminen
 - Attribuuttitiedot, nimikkeistö, ohjeet eri suunnitelmavaiheisiin
 - Mittaperustan toimittaminen tietomallin mukana
 - B20-päivitys
 - Mallintaminen eri suunnitteluvaiheissa sekä kunnossapitoa varten
 - Geometria pituusmittaraiteen mukaisesti (RATOn mukaan)
- Arkistojen kehittäminen mallipohjaiseksi sekä arkistojen avoimuus
 - Geometriarekisteri
 - Pohjatutkimusaineisto
 - Ajolankojen asematiedot (EMMA-ajoista)
- Mallin hyödyntäminen työmaalla, esimerkiksi perustuksen merkintää maastoon. Nyt tiedot haetaan monesta eri pdf-kuvasta.
- Lainsäädännöllisiä tekijöitä:
 - Ratalaki ja arkistolaki
 - Ratasuunnitelman nähtävillä olo
 - Voisiko nähtävilläolon toteuttaa mallina?
 - Hallinnollinen dokumentaatio
 - Laittilojen rakennusluvan edellyttämät dokumentit
 - Turvalaite- ja sähköratatekniikoiden osalta ei ole pakollista dokumentaatiota -> teknisiä aineistoja

5. SEURAAVA TYÖPAJA

- Seuraava työpaja järjestetään 13.12. klo 12-16 Liikennevirastossa Pasilassa, nh
- Seuraavassa työpajassa pohditaan kyseisten tekniikka-alojen mallintamista yleis- ja ratasuunnitelmavaiheissa.

- Seuraavassa työpajassa käydään läpi työpajojen tuloksia ja kommentoidaan niitä. Tuloksia täydennetään, tarkennetaan ja korjataan työpajassa. Tammikuussa pidetään varsinainen esitelytilaisuus, jossa esitellään tämän työn lopulliset tulokset.

6. TILAISUUDEN PÄÄTTÄMINEN

- Tilaisuus päätetään noin klo 16

Eveliina Pulkkinen

Turvalaite- ja sähköratatekniikan inframallintamisen kehittäminen

VIIDES TYÖPAJA

- Aika:** ke 13.12.2017 klo 12.00-16.00
- Paikka:** Liikennevirasto, Pasila
Neuvotteluhuone Bitumi
- Osallistujat:** Jari Kainuvaara, Finnmap Infra
Tarmo Savolainen, Liikennevirasto
Anssi Krooks, Proxion
Tuukka Penttinen, Proxion
Mika Sikanen, Proxion
Joni Mäkelä, Ramboll
Tiina Frilander, VR Track
Mia Leppänen, VR Track
Annemari Kaaranka, Welado
Eveliina Pulkkinen, WSP
Teppo Rauhala, WSP

1. TILAISUUDEN AVAUS

- Tilaisuus avattiin klo 12

2. EDELLINEN TYÖPAJA

- Edellisen työpajan muistio käytiin läpi. Muistioon ei ollut kommentoitavaa.

3. RYHMÄTYÖSKENTELY

- Ryhmätyöskentelyn aiheet
 1. Mallinnusvaatimukset yleis- ja ratasuunnitteluvaiheissa
 2. Toteumamallin vaatimukset

4. RYHMÄTYÖN TULOKSET

1. Mallinnusvaatimukset yleis- ja ratasuunnitteluvaiheissa

- Yleissuunnitelmavaihe on liian karkeatasoinen mallintamiselle
- Yleissuunnitelmavaiheessa mallintaminen ennemmin riskien mallintamista
- Ratasuunnitelmavaiheessa tulisi jo mallintaa näiden tekniikka-alojen rakenteita, ainakin isomman tilavarauksen vaativat:
 - laitetilat, relekojut, kaapit
 - syöttöasema
- Erityisesti turvalaitteiden osalta aikaisemmissa suunnitelmavaiheissa sijaintitiedot ovat todella suuntaa-antavia, heittävät hyvin paljon lopullisesta
- Suojaetäisyyksien mallintaminen - missä vaiheessa?
- Lähtötietoja mallinnetaan kaikissa suunnitelmavaiheissa ja ne täydentyvät läpi hankkeen
- Yleis- ja ratasuunnitelmavaiheissa suunnitelmat ”myydään” isommalle joukolle (sidosryhmät yms.), joten mallintamisen vaatimuksissa pitäisi ottaa tämä tavoite huomioon
- Tietomallintamisen hyödyntäminen kaavoituksessa
- Mallipohjaiseen suunnitteluun siirtyessä tulisi pohtia suunnittelun sisältöä
 - Tulisiko näiden tekniikka-alojen suunnitteluprosessia muuttaa siten, että jo aikaisemmin suunnitteluvaiheissa suunniteltaisi ja mallinnettaisi tarkemmin?
 - Suunnittelun tarkentumisen aiheuttamat kustannukset ovat pienet verrattuna säästöihin, jotka saadaan mallipohjaisella toiminnalla
 - Toisaalta kaikkia yleis- ja ratasuunnitelmavaiheiden suunnitelmia ei toteuteta
- Tavoitetilanne tietomallintamisessa on, että malli täydentyy vaiheesta toiseen eikä samaa asiaa mallinneta moneen kertaan. Suunnitelmavaiheen tarkkuuden mukaan lisätään metatietoa ja tarkennetaan kuvautumista.

2. Toteumamallin vaatimukset

- Rekisterit ja tietovarastot
 - Parhaillaan käynnissä erilaisia kehityshankkeita rekistereille sekä suunnitelma- ja toteumatiedoille
 - Tällä hetkellä on käytössä paljon erilaisia rekistereitä ja eri tahot vievät eri osakokonaisuuksia rekistereihin

- Rekisterit tulisi tarvittavilta osin yhtenäistää ja tietojen vieminen koordinoida järkevästi
 - Mallipohjaiseen toimintaan siirryttäessä myös rekisterien tulisi olla mallipohjaisia, sillä suunnittelun ja toteutuksen aikana kertynyttä mallipohjaista tietoa ei tule muuttaa yksinkertaisempaan muotoon rekistereitä varten
 - Sijaintitiedot esitetään radan osalta km-paalutuksen mukaan, mistä tulisi päästä eroon ja käyttää ensisijaisena sijaintitietona x,y,z-koordinaattitietoa (km-paalutus viitetietoa)
- Erityisesti turvalaitteille on tyypillistä, että suunnitelmiin tulee muutoksia kohdetta toteuttaessa puutteellisten lähtötietojen takia -> lähtötietojen tärkeyden korostaminen!
- Toteumatietoa tulisi voida käyttää lähtötietoina suunnitteluun ja kunnossapitämiseen ja luottaa, että tieto on ajantasaista ja oikeaa
- Toteumatietojen mittaaminen on usein puutteellista, vaikka sopimuksiin olisikin sisällytetty vaatimukset mittauksille
 - Tämä johtuu pitkälti siitä, että mittauksia ei vaadita tarpeeksi napakasti -> tilaajalle vastuu ohjeistaa ja vaatia, tarvittaessa sanktiot puuttuville mittauksille
 - Myös vanhat tottumukset vaikuttavat
 - Varsinkin maanalaiset rakenteet (esim. kaapelit) on ensisijaisen tärkeää saada mitattua tarkasti rakentamisen yhteydessä
- Vaikka projektissa olisi rahat tiukilla, pitäisi silti panostaa toteumatietojen mittaamiseen, sillä nämä tiedot säästävät paljon rahaa tulevaisuudessa
 - Kustannusajattelu yhtä hanketta laajemmaksi
- Tiedon ylläpitäminen ja sen koordinoiminen on tärkeää!
 - Tulisi voida luottaa, että esimerkiksi suunnittelun lähtötietoina käytettävä tieto on ajantasaista ja sisältää kaiken tarvittavan
 - Suunnitelmatieto tulee päivittää toteutuneen mukaiseksi, myös pienten urakoiden jälkeen
 - Myös kunnossapidon toimenpiteiden jälkeen kaikki muutokset tulee aina päivittää
 - Tietojen ajantasaisuuden ylläpitäminen edellyttää selkeää koordinointia
- Eri tekniikka-alojen huomioiminen: ei riitä, että huolehditaan vain rataan liittyvien tietojen olevan ajan tasalla, on otettava huomioon kaikki liittyvät tekniikka-alat
 - Eri tekniikka-alat tulisi koordinoida ja hallinnoida selkeästi

- Ongelmaksi nähdään aikaisemmin rakennetut kohteet, esimerkiksi maanlaiset rakenteet, joiden tiedot ovat usein puutteellisia ja niitä on vaikea mitata enää jälkikäteen
- Kunnossapidon malleihin on määritettävä omat attribuutinsa
 - Esim. toimenpiteiden päivämäärät
 - Näiden attribuuttitietojen avulla voisi ennakoida vaadittavia toimenpiteitä hakemalla tietoja ulos mallista
- Omaisuudenhallinta
 - Tärkeää seurata myös elementtejä ”yksilöinä” eikä osana järjestelmää. Toteutuksen jälkeen malliin lisättävä elementtien yksilöinti-, valmistus-, materiaaliyms. tiedot ja pidetään kirjaa kaikesta muutoshistoriasta (esim. jokin laite uusiaan)
- Tulevaisuudessa toteumamallin tulisi kattaa koko hankkeen toteutus, alkuun olisi ensisijaisen tärkeää sisällyttää ainakin maanlaiset rakenteet tarkasti
- Pohdittiin myös, kuinka tarkasti mitatut asiat tulisi esittää toteumamallissa. Jotta toteutus voidaan todentaa tilaajalle, tulisi toteumamallin olla havainnollinen eikä pelkästään pistemäistä mittausdataa

5. KEHITYSTYÖN TULOSTEN LÄPIKÄYMINEN

- Työpajan lopuksi käytiin läpi jatkotoimenpiteet ja kehitystyön tuloksia. Ajan puutteen vuoksi tulokset käytiin läpi pintapuolisesti. Tulokset laitetaan jakeluun koko työryhmälle, jolloin tuloksia voi vielä kommentoida.
- Jatkotoimenpiteet:
 - 3D-objektikirjasto
 - Pitäisi saada käyttöön mahdollisimman pian. Asia on ollut työn alla ja asiaa pyritään viemään eteenpäin. Objektikirjasto vaatii jonkun toimijan hallinnoimaan sen käyttöä.
 - Pilottiprojekteissa testataan nyt määritettäviä alustavia ohjeita ja määrittäviä, täydennetään tulosten perusteella
 - Pasila-Riihimäki
 - Luumäki-Imatra?
 - Tiedonsiirtoformaatti
 - Kansainvälinen IFC-kehitystyö kestää pitkään, sen tuloksia odotellessa määritettävä jokin toistaiseksi käytettävä formaatti
 - dwg ei ole pitkällä tähtäimellä hyvä ratkaisu, mutta sillä luultavasti edetään toistaiseksi

- Nostettiin esille Inframodelin LandXML-pohjainen laajentaminen näille tekniikka-aloille: tiedonsiirto piste- ja viivatietona, joihin liitetään 3D-kuvautuminen
 - Tulevaisuudessa tilanne saattaa olla se, että Suomessa infra-alalla tiedonsiirtoformaattina käytettävää Inframodelia laajennetaan IFC- ja GML-pohjaiseksi
- Muun ohjeistuksen kehittäminen:
 - Radan suunnitteluohje, mittausohje
- Mallinnustapa:
 - Objekteille tulee määrittää sijaintipisteet mittausohjeen mukaisesti.
 - Mittausohjeesta puuttuu korkeustiedot. Korkeustiedot tulisi määrittää suunnittelijan vaatimusten mukaisesti, esim. opastimen sijaintipiste määritettiin pylvään ja jalustan liitoskohtaan.
 - Keskusteltiin kaapelikourujen mallintamisesta tyyppipaloina, mikä on työlästä. Tässä vaiheessa se ei ole kannattavaa vaan mallinnetaan ”pursottamalla” yhtenäinen taiteviiva.
 - Käytetty koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä tulee aina ilmoittaa
- Attribuuttitiedot:
 - Kaikille yhteiset perustiedot ensisijaisia, muita tietoja voi määrittää tarvittaessa. Pilottiprojekteissa pyritään tunnistamaan määritettäviä attribuuttitietoja ja täydentämään pilottien perusteella.
 - Sijaintitieto: x,y,z-sijaintitieto on ensisijainen, km-paalutus (rataosoite) ilmoitetaan viitetietona
 - Koordinaattisijainti ei ole varsinaisesti attribuuttitieto vaan mallinnettavan osan sijaintitieto
 - Attribuuttitiedoille tulisi määrittää vakioarvot aina kun se on mahdollista
- Nimikkeistö
 - Todettiin, että vaihtoehto, jossa on luotu omat nimikkeistöryhmät järjestelmille, on kaikista selkein. Kyseistä vaihtoehtoa voitaisiin pilotoida Pasila-Riihimäki-hankkeessa.
 - Alkuvuodesta järjestetään nimikkeistötyöpaja, jossa näiden tekniikka-alojen nimikkeistöasia voitaisiin tuoda esille.

6. SEURAAVA TYÖPAJA

- Työn tulosten esittelytilaisuus järjestetään 17.1.2018 klo 12 alkaen Liikennevirastossa, nh Sattama (2.krs)

7. TILAISUUDEN PÄÄTTÄMINEN

- Tilaisuus päätetään noin klo 16.00

VE1: Olemassa olevan InfraBIM-nimikkeistön hyödyntäminen
Hyödynnetty olemassa olevaa nimikkeistöä.
Kaikille osille ei löydy sopivia litteroituja.

VE2: Olemassa olevan InfraBIM-nimikkeistön tarkentaminen
Olemassa olevaa nimikkeistöä on tarkennettu. Osille ei ole kuitenkaan luotu omia nimikkeistöryhmiä.

VE3: Olemassa olevan InfraBIM-nimikkeistön täydentäminen (omat ryhmät)
Olemassa olevaa nimikkeistöä on täydennetty lisäämällä sopiviin kohtiin omat ryhmänsä turvalaite- ja sähköratajärjestelmille.

	Tunnus	Otsikko	Tunnus	Otsikko	Tunnus	Otsikko
Turvalaitteet					329100	Rautatien turvalaitejärjestelmä
Opastinjärjestelmä					329110	Opastinjärjestelmä
Opastimet	326200	Liikennevalot ja valo-opasteet	326210	Rautatien opastimet	329111	Opastimet
Opastinportaalit	333400	Portaalit	333410	Rautatien opastinportaalit	329112	Opastinportaalit
Opastinperustukset	131000	Maanvaraiset perustukset	131400	Rautatien opastinperustukset	329113	Opastinperustus
Kaapelireitit					329120	Kaapelireitit ja kaivot
Kaapelit	331100	Maakaapelirakenteet	331100	Maakaapelirakenteet	329121	Maakaapelit
Kaapelikanavat	332200	Suojauselementit	332200	Suojauselementit	329122	Kaapelikanavat
Alitusputket	332100	Kaapelisuojausrakenteet	332100	Kaapelisuojausrakenteet	329123	Alitusputket
Kaapelikaivot	332300	Kaapelikaivot	332300	Kaapelikaivot	329124	Kaapelikaivot
Kytkentäkaivot	332300	Kaapelikaivot	332300	Kaapelikaivot	329125	Kytkentäkaivot ja -rasiat
Läpivientipölkky	242200	Ratapölkkyt	242210	Läpivientipölkky		
Kaapit ja kojut					329130	Kaapit, kojut ja muut tilat
Turvalaitekaapit	335200	Kaapit	335910	Turvalaitekaapit	329131	Turvalaitekaapit
Turvalaitekojut	335100	Laitetilat ja kojut	335920	Relekojut	329132	Turvalaitekojut
Asetinlaitetilat	335110	Rataliikenteen asetinlaitetilat	335110	Rataliikenteen asetinlaitetilat	329133	Asetinlaitetila
JKV-järjestelmän laitteet					329140	JKV-järjestelmä
Baliisit					329141	Baliisit
Vaihteiden turvalaitteet					329150	Vaihteiden turvalaitteet
Vaihteenkääntölaitteet					329151	Vaihteenkääntölaitteet
Turvalaitepainikkeet					329152	Paikallislupapainike
Raiteensulut	322400	Liikenne-esteet	322410	Raiteensulku	329153	Raiteensulku
Avainsalpalaitteet					329154	Avainsalpalaitte
Päätepuskimet					329155	Päätepuskin

Vapaanaolonvalvonta					329160	Radan vapaanaolonvalvonta
Akselinlaskenta-anturit					329161	Akselinlaskenta-anturit
Raide-eristykset					329162	Raide-eristykset
Tasoristeyslaitteet					329170	Tasoristeyslaitteet
Radan merkit					329170	Radan merkit

Sähkörata					339000	Sähköratajärjestelmä
Pylväät ja portaalit					339100	Pylväät ja portaalit
Pylväät	333100	Pylväät	333130	Sähköratapylväät	339110	Sähköratapylväät
Pylväsperustus	131000	Perustusrakenteet	131300	Sähköratapylväsperustukset	339120	Sähkörataportaalit
Sähkörataportaaali	333400	Portaalit	333410	Sähkörataportaaali	339130	Sähköratapylväsperustukset
Harukset	333900	Muut kannatusrakenteet	333910	Harukset	339140	Sähköratapylväiden harukset
Ajolangat ja kannatinrakenteet					339200	Ratajohto
Ajojohtimet	331200	Ilmajohtorakenteet	331210	Ajojohtimet	339210	Ajojohtimet
Paluujohtimet	331200	Ilmajohtorakenteet	331220	Paluujohtimet	339220	Paluujohtimet
Kannatinlangat	333200	Ilmajohtojen kannatinrakenteet	333210	Kannatinlanka	339230	Kannatinlanka
Y-köydet	333200	Ilmajohtojen kannatinrakenteet	333220	Y-köysi	339240	Y-köysi
M-johtimet	331200	Ilmajohtorakenteet	331230	M-johto	339250	M-johto
Kääntöorret	333200	Ilmajohtojen kannatinrakenteet	333230	Kääntöorsi	339260	Kääntöorsi
Muuntajat					339300	Muuntajat
Imumuuntajat	334000	Muuntamot ja keskukset	334910	Imumuuntaja	339310	Imumuuntaja
Erotusmuuntajat	334000	Muuntamot ja keskukset	334920	Erotusmuuntaja	339320	Erotusmuuntaja
Lämmitysmuuntajat	334000	Muuntamot ja keskukset	334930	Lämmitysmuuntaja	339330	Lämmitysmuuntaja
Muut sähköratajärjestelmän osat					339400	Muut sähköratajärjestelmän osat
Syöttöasemat	334000	Muuntamot ja keskukset			339410	Syöttöasemat
Maadoitukset	331300	Maadoitukset	331300	Maadoitukset	339420	Sähköradan maadoitukset

